

Erneuerbare Energien

in der Region Hegau / Bodensee

Region

Energie

Strategie

Nachhaltigkeit

Übersicht der technisch verfügbaren Potentiale

solar**complex**:

Inhalt

1	Gruß- und Vorworte	4
1.1	Grußworte des wissenschaftlichen Beirats	4
1.2	Vorwort der Autoren	11
2	Einleitung und Zielsetzung	17
2.1	solarcomplex, die Vision	17
2.2	Zielsetzung und Aufbau der Studie	19
2.3	Datenquellen und Danksagung	24
2.4	Zum Potential-Begriff	26
3	Potentiale im Überblick	29
4	Potentialermittlung im Einzelnen	39
4.1	Photovoltaik	39
4.2	Solarthermie	46
4.3	Wasserkraft	49
4.4	Windkraft	55
4.5	Biomasse	61
4.5.1	Holz	62
4.5.2	Biogas	66
4.5.3	Pflanzenöle	68
4.5.4	andere Biomasse	70
4.6	Geothermie	75
5	Anhang	85
5.1	Übersicht der Einheiten und Umrechnungen	86
5.2	Quellen- und Literaturübersicht	90

**Prof. Dr. Hartmut Grassl**¹

Geschäftsführender Direktor des Max-Planck-Instituts
für Meteorologie, Hamburg

Mitglied des wissenschaftlichen Beirats von **solarcomplex**

Jedem Gebildeten ist klar, dass auf einem begrenzten Planeten nicht immer alles weiter wachsen kann. Dennoch hat unsere Wirtschaftspolitik außer dem generellen Wunsch „hohes Wirtschaftswachstum“ bisher selten Differenzierteres zu bieten. Bürger, welche diejenigen Zweige der Wirtschaft fördern wollen, die den vor allem durch die Energieversorgung verursachten hohen Druck auf die Umwelt mindern - wie das Bürgerunternehmen **solarcomplex** im Hegau - haben große Startschwierigkeiten, weil die Energiepreise die Umwelt- und

Gesundheitskosten nur zu einem kleinen Teil enthalten und sie deshalb jeder aber nicht der Verursacher über hohe Steuern bezahlen muss.

Um diese politische Schräglage zu mildern und die ersten positiven Schritte der Politik, wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz, zu stabilisieren, sind Initiativen wie **solarcomplex** dringend notwendig. Sie werden zeigen, dass eine regionale, regenerative Energieversorgung einen wesentlichen Anteil erreichen kann. Nur über sie als Vorreiter ist eine nachhaltige Energieversorgung, das zweite solare Zeitalter, bis etwa 2050 zu erreichen.

1 Hartmut Grassl ist Meteorologe und Klimaforscher, er war von 1994 bis 1999 als Direktor des Weltklima-Forschungsprogramms der „Chefklimatologe“ der UNO. Nach seinem Studium der Physik und Meteorologie nahm er an mehreren Forschungs Expeditionen zum tropischen Atlantik und ins Inlandeis von Grönland teil. Durch seine wissenschaftliche Arbeit, vor allem am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg, erwarb er sich einen internationalen Ruf als Klimaforscher. Er war Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates „Globale Umweltveränderungen“ der Bundesregierung, gehörte der deutschen Delegation beim Weltgipfel in Rio an und arbeitete in der Bundestagsenquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ mit. 1990 veröffentlichte er das erfolgreiche Buch „**Wir Klimamacher**“ 1998 erhielt er den Umweltpreis der Deutschen Bundesstiftung Umwelt 1999 veröffentlichte er in der Buchreihe zur EXPO 2000 den Titel „**Wetterwende. Vision: Globaler Klimaschutz.**“ Seine Forderung darin: Globaler Klimaschutz ist überfällig, seine Zuversicht: Das zweite solare Zeitalter kommt.

**Prof. Dr. Peter Hennicke**²

Präsident des Wuppertal Instituts

Mitglied des wissenschaftlichen Beirats von **solarcomplex**

Die Potentialstudie zu den erneuerbaren Energien in der Region Hegau / Bodensee kann zum Bau- und Fahrplan werden, um eines der ambitioniertesten Energieprojekte in Deutschland Wirklichkeit werden zu lassen.

Ich bewundere die Begeisterungsfähigkeit, die Fachkompetenz und die Hartnäckigkeit, mit der das „Bürgerunternehmen **solarcomplex**“ die Aufgabe anpackt, in 30 Jahren die Energieversorgung einer Region (mit etwa 800 qkm und etwa 265.000 Einwohnern) ausschließlich auf erneuerbare Energien umzubauen. Es wird darauf ankommen, auf der Grundlage der Potentialübersicht konkrete Objekte und Akteure zu identifizieren, um mit überzeugenden Pilot- und Demonstrationsanlagen zu zeigen, wie das Ziel einer nachhaltigen regionalen Energiestrategie in wirtschaftlich darstellbaren Schritten erreicht werden kann. Gelingt diese Demonstration, dann wird sie viele Nachahmer finden. Denn eine regionale Energiewende hat paradigmatische Bedeutung: Sie ist ein Beitrag zur Deglobalisierung und zur Kreislaufwirtschaft, sie ist Kern eines regionalen Agenda21-Prozesses und durch die Dezentralität und Vielfalt ihrer Techniken werden Marktmacht und Risiken abgebaut sowie demokratische Partizipation gestärkt.

Wann immer möglich empfiehlt es sich, den derzeit noch relativ teuren erneuerbaren Energien dadurch schneller den Weg in den Markt zu ebnen, dass sie jeweils zusammen mit Gebäuden, Umwandlungstechniken, Geräten und Ausrüstungen eingesetzt werden, die die erneuerbare Energie möglichst effizient nutzen. Durch die enge Koppelung von Effizienz und Sonne kann der Deckungsanteil der erneuerbaren Energien schneller angehoben und aus den eingesparten Energiekosten der Finanzierungsspielraum für die erneuerbaren Energien erwirtschaftet werden.

Für die Energieversorgung in Deutschland ergäbe sich ein Quantensprung in Richtung Nachhaltigkeit, wenn dieses Beispiel für kompetenten Bürger- und Geschäftssinn Schule machen würde. Ich kann **solarcomplex** nur wünschen, dass nicht nur die Bürger, sondern auch die Unternehmen der Region (Stadtwerke, mittelständische Wirtschaft, Handwerk) dieser mutigen und langfristig angelegten Initiative den Schwung verleihen, die sie verdient und benötigt.

Das Wuppertal Institut wird hierbei mit Rat und Tat zur Seite stehen.

2 Peter Henicke ist Spezialist für angewandte Energie-Effizienz und war Mitglied der Klima-Enquetekommission des Deutschen Bundestags. Der Professor für Wirtschaftspolitik und Energiewirtschaft arbeitete als Referent für Grundsatzfragen im Hessischen Ministerium für Umwelt und Energie und war langjähriges Vorstandsmitglied des Öko-Instituts in Freiburg. 1999 veröffentlichte er in der Buchreihe zur EXPO 2000 gemeinsam mit dem amerikanischen Energie-Vordenker Amory Lovins den Titel „**Voller Energie. Vision: Die globale Faktor-Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg.**“

**Prof. Dr. Rolf Kreibich**³

Direktor IZT - Institut für Zukunftsstudien
und Technologiebewertung, Berlin.

Mitglied des wissenschaftlichen Beirats von **solarcomplex**

Reale Visionen zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Ausgangsbedingungen reflektieren. Wenn wir zu einer ehrlichen Lagebeschreibung kommen wollen, dann müssen wir unsere Defizite beachten: Uns allen mangelt es an hinreichender Fähigkeit und Bereitschaft, bekannte, vor allem langfristig zukunftsbegrenzende Fakten und Erkenntnisse wahrzunehmen und zu verarbeiten. In der Politik sind Vier-Jahres-Perspektiven schon lang, in Unternehmen heute schon zwei bis drei Jahre. Wir leiden in allen Handlungsbereichen an einem eklatanten Mangel an Phantasie und Kreativität für Zukunftsoptionen und langfristig tragfähige Zukunftsstrategien. Zwischen dem vorhandenen Wissen über Zukunftsentwicklungen und zukunftsfähigen Strategien und Maßnahmen und dem konkreten politischen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Zukunftshandeln klafft eine riesige Lücke...

...Der Markt selbst ist blind gegenüber Notwendigkeiten, die gesellschaftlich nicht mächtig genug artikuliert werden. Hier zeigt sich nicht die Unfähigkeit der Marktmechanismen, sondern die Unfähigkeit der Wirtschaftssubjekte zu erkennen, was der Markt leisten kann und was nicht. Marktwirtschaft ist - gerade im Zeichen der Globalisierung - kein Zauberinstrument, mit dem alle gesellschaftlichen, ökologischen und sozialen Probleme gelöst werden können, sondern ein wirtschaftliches Organisationsprinzip, das in der Geldwirtschaft effizient und selbststeuernd ökonomisch wirkt. Gerade wenn wir das erfolgreiche Organisationsprinzip erhalten wollen, sind angesichts der massiven sozialen und ökologischen Verwerfungen neue Zielvorgaben und Rahmenbedingungen zu setzen, die dem Marktgeschehen Richtung und Bandbreite angeben, wohin (!) und in welchen Grenzen es sich entfalten soll. ...

...Ich bevorzuge eine Formulierung, die sich deutlicher auf die Erhaltung der Lebens- und Produktionsgrundlagen bezieht und damit näher an einem Prinzip der Nachhaltigkeit liegt wie es ursprünglich in der Forstwirtschaft entwickelt wurde: „Nachhaltige Entwicklung bedeutet, dass jede Generation so handeln muss, dass das natürliche Kapital (Quantität und Qualität der natürlichen Lebensmedien und Ressourcen) soweit erhalten bleibt, dass für künftige Generationen die Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden und ein Zusammenleben aller Menschen in wirtschaftlicher und sozialer Stabilität möglich ist“.

...Für die praktisch handelnden Akteure in den Kommunen, staatlichen Institutionen, Unternehmen, Verbänden und Organisationen müssen die bisher genannten Leitziele und Handlungsmaximen natürlich durch umsetzbare Strategien sowie konkrete Projekte und Maßnahmen operationalisiert werden. Grundsätzlich muss sich der Wandel in Richtung „Nachhaltigkeit“ auf alle gesellschaftlichen Bereiche beziehen. ... Zur Erfüllung des Nachhaltigkeits-Prinzips müssen die verschiedenen Konzepte und Maßnahmen an definierten Indikatoren gemessen und bewertet werden. Hierzu sei betont, dass es sich immer nur um einen Tendenzprozess handeln kann, mit dem wir uns schrittweise den Leitzielen der Nachhaltigkeit annähern. Nachhaltige Entwicklung ist somit eine reale Vision von einem permanenten Prozess, der im Prinzip nie zum Abschluss gebracht werden kann. ...

3 Rolf Kreibich ist Physiker, er war von 1969 bis 1976 Präsident der Freien Universität Berlin und ist seit 1981 Geschäftsführer und wissenschaftlicher Direktor des IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, Berlin. 1996 war er Preisträger des Bundesdeutschen Arbeitskreises für Umweltbewusstes Management.

Fakten und Widersprüche

"Die Erzeugung, Bewahrung und kontrollierte Verwendung des Feuers stellt einen der entscheidenden Schritte in der kulturellen Entwicklungsgeschichte des Menschen dar."

So steht es in der grossen Enzyklopädie des Brockhaus. Wir wissen heute nicht genau, wann dieser Schritt getan worden ist. Die Wissenschaft nimmt an, rund 500 Tausend Jahre vor unserer Zeitrechnung und schreibt den Anfang der Beherrschung des Feuers mit hoher Wahrscheinlichkeit dem Homo erectus zu, einem Frühmenschen, dessen "Lebenszeitraum" wir heute ungefähr mit 1,8 Millionen bis 40 Tausend Jahre vor Christi Geburt ansetzen.

Es sind nach heutigem Kenntnisstand diejenigen unserer Vorgänger, die als erste Afrika verlassen und sich auf der Erde ausgebreitet haben. Davor hatten Vor- und Frühmenschen ihren Energiebedarf ausschliesslich durch die Aufnahme von Nahrung gedeckt. Das neu gewonnene Instrument "Feuer" wurde zum geniessbar Machen und Garen von Lebensmitteln, als Wärme- und Lichtquelle, sowie zum Schutz vor gefährlichen Tieren verwendet. Mit einem noch grösseren Energieangebot hätten die Vorgänger des heutigen Menschen nichts anfangen können - sie hätten keine Nutzungsmöglichkeiten dafür gehabt.

Die Situation änderte sich langsam, aber gründlich, durch das Auftauchen von Homo sapiens auf der Erde. Derjenigen modernen menschlichen Art, der ausnahmslos jeder heutige Mensch angehört. Mit letzter Sicherheit kennen wir den Zeitpunkt seines Erscheinens nicht, aber die ältesten Fossilien, die wir bisher gefunden haben, sind 120 bzw. 150 Tausend Jahre alt. Zu Beginn war der Energiebedarf dieser neuen Art sicher auch nicht grösser als der jener beiden Menschenarten Homo erectus und Neandertaler, die bei seinem Auftauchen noch auf der Erde

lebten. Aber er besass im stärkeren Mass als alle seine Vorgänger die Fähigkeit zur Erfindung, zur Entwicklung von Techniken und zum Lösen von äusseren Problemen. Er zähmte Wildtiere und nutzte sie als Nahrungslieferanten sowie als Zug- und Reittiere. Für deren Ernährung benötigte er zusätzliche Energie in Form von Biomasse. Er lernte es auch, mit dem Wind zu segeln und er liess das Wasser über geeignete Anlagen für sich arbeiten. Es gelang ihm, Bodenschätze in immer grösseren Tiefen bergmännisch abzubauen. Diese Entwicklungen steigerten langsam, aber unaufhaltsam seinen Energiebedarf. Der ganz grosse Impuls für die Zunahme seines Hungers nach Energie kam mit der industriellen Revolution gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Der Bedarf der entstehenden Industrie an immer mehr Energie war nur dadurch zu decken, dass auch die Förderung von fossilen Brennstoffen Schritt für Schritt industrielle Formen annahm und damit selbst Teil der Industrie wurde. Seitdem hat die Energiebereitstellung auf der Erde ständig zugenommen und sie nimmt weiter zu. Ein durchschnittlicher Mensch, der heute auf der Erde lebt, benötigt in seiner Nahrung Energie von knapp 3,8 Gigajoule, pro Jahr. Jeder Deutsche benötigt darüber hinaus weitere Energie in der Grösse von 173 Gigajoule pro Jahr für andere Zwecke ⁴. Das bedeutet, wir setzten reichlich das 45-fache der Energie, die wir als Nahrung brauchen, für unsere sonstigen Bedürfnisse ein.

Dieses Verhältnis ist einerseits ein Gradmesser für die von uns hervorgebrachte Zivilisation, andererseits zeigt es unsere Abhängigkeit von einer sicher funktionierenden Energieversorgung. Wir haben jedoch in den zurückliegenden 15 Jahren immer deutlicher und zuverlässiger erfahren, dass die Reichweite der mit den heute üblichen Mitteln abbaubaren fossilen Brennstoffe nur noch in Jahrzehnten zu messen ist. Und dass wir allem Anschein nach dabei sind, durch das bei der Verbrennung dieser fossilen Energieträger massenhaft freigesetzte CO₂

⁴ Quelle: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft

unser Klima schwerwiegend zu verändern. Dabei kehren wir einen grundlegenden Vorgang um, der vor rund 600 Millionen Jahren die Entstehung höheren Lebens erst ermöglicht hat. Damals wurde von den neu entstandenen Pflanzen mit Hilfe der durch Sonnenenergie angetriebenen Photosynthese die bis dahin vorhandene Kohlendioxid- Atmosphäre zur heutigen Sauerstoff-Atmosphäre umgeformt.

Kernspaltung und Kernverschmelzung werden uns keine Lösung des Problems bringen. Wie die schweren Reaktorunfälle von Harrisburg und Tschernobyl gezeigt haben, ist die energetische Nutzung der Kernspaltung zu gefährlich. Ausserdem reichen die Vorräte des Kernbrennstoffs Uran keineswegs grundsätzlich länger als die der fossilen Brennstoffe. Die Kernverschmelzung ist zeitlich weit von einer technischen Anwendbarkeit entfernt und ausserdem durch den Anfall von radioaktiven Abfällen in keiner Weise risikolos. Also müssen wir bei der Energieversorgung neue Wege gehen und sie auf eine solide und zukunftsfähige Basis stellen. Diese Einsicht hat uns zu der vorliegenden Arbeit motiviert.

Nachdem wir festgestellt haben, dass sich mit der Nutzung fossiler Brennstoffe und dem Betrieb von Kernspalt- und Kernfusionsreaktoren keine dauerhafte, zuverlässige und sichere Energieversorgung gewährleisten lässt, müssen wir uns fragen, auf welcher Basis wir in Zukunft unseren Energiebedarf nachhaltig decken können. Darauf gibt es nur eine Antwort und die ist einfach:

Die direkte Sonneneinstrahlung und alle regenerativen Energieträger, die ihren Energieinhalt dieser Strahlung verdanken, wie Wasserkraft, Windkraft und Biomasse. Sie werden zusammen mit den Erdwärmepotentialen aus grosser Tiefe in der Zukunft die Grundlagen der Energieversorgung auf der Erde bilden.

Die Sonneneinstrahlung steht nach menschlichen Massstäben zeitlich unbegrenzt zur Verfügung. Wenn die Sonne in sehr ferner Zeit aufgrund kosmischer Veränderungen als Energiespender ausfallen wird, dann wird vorher schon die Erde aus denselben Gründen als Lebensraum für Menschen unbenutzbar geworden sein.

Die wohlüberlegte, kluge Nutzung der erneuerbaren Energien wird keine Risiken von ähnlichem Ausmass beinhalten, wie wir sie im Rahmen unserer heutigen Energieversorgung in Kauf nehmen. Wir werden Transportwege einsparen und die Versorgungssicherheit wird entscheidend weniger durch politische und militärische Einflüsse gefährdet sein als heute.

Da sich ein Teil unserer Arbeit mit der energetischen Nutzung von Biomasse befasst, erscheint es uns angemessen, auf einen weiteren Vorteil hinzuweisen.

Eine künftige Energieversorgung, wie von uns vorgeschlagen, wird der Land- und Forstwirtschaft dieses Landes, deren bisherigen Märkte weitgehend gesättigt sind, neue Möglichkeiten für den Absatz ihrer Produkte eröffnen.

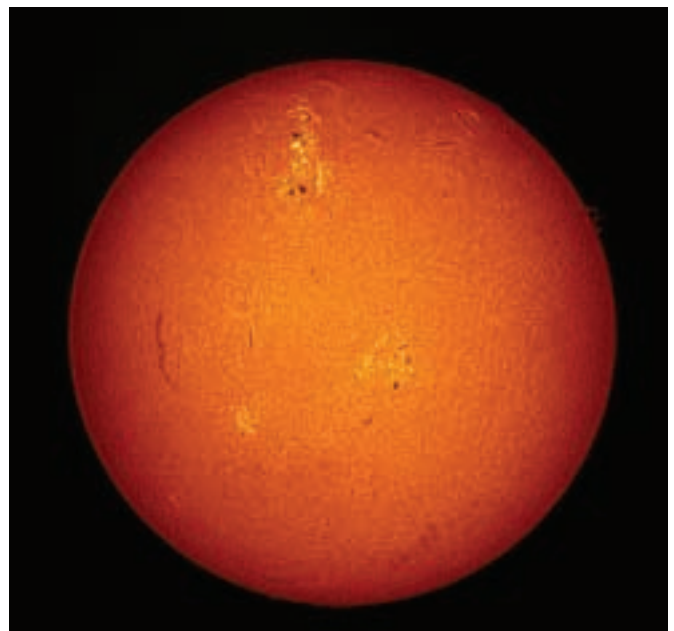
Die Menschen der Industrie- und Schwellenländer verbrauchen seit ungefähr Mitte des neunzehnten Jahrhunderts in exponentiell zunehmendem Maße die in Jahrmillionen entstandenen fossilen Energieträger innerhalb eines Zeitraumes von 2 – max. 3 Jahrhunderten, sie zehren gewissermaßen ein Energie“kapital“ unwiederbringlich auf. Die Sonnenstrahlung stellt demgegenüber einen Energie“Zins“ dar, denn das eigentliche Kapital, die Sonne selbst ist innerhalb menschlicher Zeitvorstellungen unerschöpflich, sie kann im Gegensatz zu den fossilen Energiestoffen nie aufgebraucht werden ⁵.

⁵ Nie heißt hier, nicht innerhalb der nächsten 5 Milliarden Jahre, dies ist nach übereinstimmender Auffassung der Astronomen mindestens die verbleibende Lebensdauer unseres Muttergestirns Sonne. Siehe auch: **Warum die konventionellen Energiequellen nur marginal die Energiebedürfnisse befriedigen** Aufsatz von Klaus Fuhrmann, Astrophysiker, Uni München, in solarzeitalter 2/2001

Die physikalische Realität ist beeindruckend, nahezu unvorstellbar: Pro Sekunde werden in der Sonne entsprechend der ebenso revolutionären wie schlichten Einstein'schen Formel ⁶ $E=mc^2$ mehr als 4 Millionen Tonnen Materie in Energie umgewandelt. In der Folge werden $3,85 \times 10^{23}$ kW Energie ⁷ abgestrahlt. Die Erde ist am Sonnenhorizont nur ein winziges Objekt, deshalb trifft weniger als ein halbes Milliardstel dieser Energie uns. Dies sind aber immer noch rund 7×10^{13} kW oder im Jahr rund 15×10^{17} kWh $\sim 1.500.000.000$ TWh. Der kommerzielle Weltenergieverbrauch ⁸ der Menschheit beträgt derzeit etwa 100.000 TWh ⁹ pro Jahr, also rund ein Fünfzehntausendstel! Allein die auf den Landoberflächen auftreffende Strahlungsenergie macht immer noch etwa das Dreitausendfache des kommerziellen Weltenergieverbrauchs aus.

Wie ist diese physikalisch unbestreitbare Realität der Energieflüsse zu vereinen mit der weit verbreiteten Ansicht, daß die Erneuerbaren Energien nur winzige Potentiale hätten und immer haben würden?!

Erstens, nur die bezahlte Energie wird als Energie wahrgenommen, in den Energiestatistiken wird nur Energie in Warenform erfasst. Der weit überwiegende Teil der für menschliche Zwecke genutzten Energien bleibt so unerfasst und unsichtbar. Ein Beispiel ist der weltweit nahezu ausschließlich von der Sonnenenergie angetriebene landwirtschaftliche Anbau von Pflanzen



Kernfusionsreaktor mit 150 Mio. km Sicherheitsabstand u. mindestens 5 Mrd. Jahren „Restlaufzeit“, störungsfrei, ohne Wartung und radioaktive Abfälle: unsere Sonne ¹⁰

und die solare Trocknung der Ernten, ein Prozess, bei dem Sonnenenergie in Mengen genutzt wird, die weit über die kommerziell gehandelten Energien hinausgehen. Aber auch das Bereitstellen von Raumwärme in Gebäuden wird zum überwiegenden Teil von der Sonnenstrahlung bzw. der freien Umgebungsenergie geleistet, wenn nämlich in unseren Breiten die Zusatzheizung (!) im Sommer abgestellt werden kann. Selbst in einem sogenannten Null-Energiehaus wird selbstverständlich Energie genutzt, nur eben keine eingekauft, sondern mit intelligenten Technologien aus der Umgebung bezogen. Hier ist die sprachli-

⁶ Der Alltagserfahrung einigermaßen entrückt, im Rahmen der 1905 postulierten „Speziellen Relativitätstheorie“ erstmals formuliert, die Äquivalenz von Energie und Masse. Diese Erkenntnis markierte auch den Anfang der militärischen und sogenannten zivilen Nutzung der Atomenergie.

⁷ Quelle: Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching bei München

⁸ Für alle Formen der Energie gilt der fundamentale Satz von der „Erhaltung der Energie“, der sogenannte erste Thermodynamische Hauptsatz: Energie kann im physikalischen Sinne weder erzeugt noch vernichtet oder verbraucht, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. Die Umwandlung einer Energieart in eine gewünschte andere gelingt nur im theoretischen Falle zu 100%, tatsächlich dominieren in realen technischen oder natürlichen Systemen die Verluste. In einem hochindustrialisierten Land wie Deutschland werden etwa 30% der in technischen Systemen eingesetzten Energie wirklich genutzt. Der große „Rest“ heizt mit verllorener Abwärme Gewässer und Atmosphäre auf. aus: **special: Energie**, Gerd Rosenkranz, Reinbek bei Hamburg, 1995

⁹ Der weitverbreitete Begriff vom Energieverbrauch ist insofern irreführend und zeugt von einem tiefsitzenden falschen Verständnis. Gerade an der Logik der erneuerbaren Energien ist zu erkennen, daß lediglich eine Form der Energie, nämlich die frei verfügbare Umgebungsenergie, in eine andere, nämlich die gewünschte Nutzenergie umgewandelt wird.

¹⁰ Bildrechte: Eva Seidenfaden, H-alpha Sonne, Coronado H-alpha Filter ASP 60 mit 0,7 A, Aufnahme vom 22.04.2001

che Ebene verräterisch, sie offenbart die mentale Ausblendung der umfassenden solaren Energien.

Zweitens, es werden die vielfältigen Angebotsformen der erneuerbaren Energien nicht als primär solare Energie gesehen, es fehlt aus Gewöhnung an das Selbstverständliche ein Bewußtsein für die allmächtige Stellung der Sonne in der erd- und naturgeschichtlichen Entwicklung.

Wenn die Einstrahlung der Sonne nicht Tag für Tag rund 1.400 Mrd. t Wasser verdunsten würde ¹¹ und davon rund 300 Mrd. t „auf die Berge tragen“ würde, dann könnte dieses Wasser auch nicht Tag für Tag der Schwerkraft folgend zu Tale, also zum Meer fließen und als Wasserkraft genutzt werden.

Fließwasser - gleich ob als Laufwasserkraft oder im Speicherkraftwerk genutzt - ist indirekte Sonnenenergie.

Wenn die Sonne nicht Tag für Tag die irdische Atmosphäre in erheblichem Umfang „aufheizen und damit durcheinander wirbeln würde“, dann könnten die bewegten Luftmassen nicht als Windkraft genutzt werden. Windkraft ist indirekte Sonnenenergie.

Wenn die Sonne nicht Tag für Tag das Wachstum von Pflanzen in der Größenordnung von $1,6 \times 10^9$ t Biomasse ¹² antreiben würde, dann gäbe es keine Nahrungsmittel (auch eine Form von Energie), kein Holz, welches nach wie vor in weiten Teilen der Welt als primäre Energiequelle genutzt wird, keine Futtermittel, usw. Menschliche und tierische Nahrung, überhaupt jede Form von Biomasse enthält gespeicherte, also indirekte Sonnenenergie.

Das sogenannte Energieproblem ist in erster Linie ein eingebildetes, fern der physikalischen Faktenlage. Es basiert auf fehlenden Informationen, mangelnder Wahrnehmungsfähigkeit und systematischer Ignoranz durch die Statistiken. Die Fixierung auf ausschließlich die als Ware gehandelte Energie verstellt den Blick auf die prinzipiellen Dimensionen der Energieflüsse auf unserem Planeten. Die Sonnenenergie ist das treibende Element der belebten Erdgeschichte schlechthin. An ihrem reichen Tropf hängt das Leben von seinen primitivsten Anfängen bis zum heutigen Tag und auch für jede denkbare Zukunft. Die fossile Ära wird gemessen an der Menschheitsgeschichte nur ein Wimpernschlag gewesen sein, ein Intermezzo zwischen dem ersten und dem zweiten solaren Zeitalter.

Die Geschichte des menschlichen Nachdenkens über seine Welt und Umwelt hat manche Blüten der Irrationalität hervorgebracht, wie diejenige der pythagoräischen Denkschule „...daß der Mond terraner Natur ist, bewohnt ist wie unsere Erde und größere Tiere und Pflanzen mit seltenerer Schönheit beheimatet als unsere Erde es sich leisten kann. Die Tiere in ihrer Art und Stärke sind uns um 15 Grade überlegen, geben keine Exkremente von sich, und die Tage sind fünfzehn mal länger.“ Nicht viel anders zu bewerten ist die heute weitverbreitete Ansicht „...daß die erneuerbaren Energien nie einen nennenswerten Beitrag zur Deckung der menschlichen Bedürfnisse werden leisten können...“.

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, falsche Vorhersagen zu widerlegen. Erstens die faktische, indem man abwartet, bis sie sich selbst widerlegen und zweitens die systematisch-analytische, indem man den konkreten Nachweis führt. Angesichts der

¹¹ Im globalen Wasserkreislauf verdunsten pro Jahr rund 500.000 km³ Wasser, wovon rund 112.000 km³ als Niederschlag über Landoberflächen niedergehen. 1 km³ entspricht 1 Mrd. t, Quelle: Max-Planck-Institut f. Meteorologie, Hamburg

¹² **Net Primary productivity in the terrestrial biosphere, the application of a global model.** Foley, J.A., in Journal of Geophysical Research 99 (D10), 20.773 – 20.783; Hinweis durch Prof. Max Tilzer, Universität Konstanz
Die jährliche Produktion von Lebend-Biomasse im Lkr. Konstanz liegt in der Größenordnung von 500.000 t.

dramatischen Bedeutung der Energiefrage für die menschliche Zukunft an sich, empfiehlt es sich, im vorliegenden geophysikalischen Großversuch den Weg der Analyse zu beschreiten.

Ein letztes fiktives Gedankenspiel mag die Bedeutung der Sonne verdeutlichen:

Ginge eines Tages die Sonne nicht mehr auf, ereignete sich ungefähr folgendes: Innerhalb von 4 Tagen würde sich die Erdtemperatur an der Oberfläche auf minus 50 bis minus 80 Grad Celsius einstellen. Bereits nach ungefähr zwei Wochen würde weltweit bei minus 183 Grad der Sauerstoff flüssig, danach würde sich langsam aber stetig die Temperatur dem absoluten Nullpunkt von minus 273 Grad annähern. Daß dies nicht so ist, haben wir der kontinuierlichen Einstrahlung auf der der Sonne zugewandten (Tag)seite zu verdanken. Zusammen mit der Abstrahlung in den Weltraum ergibt sich als Gleichgewicht eine durchschnittliche mittlere Erdtemperatur von rund 15 Grad plus ¹³.

Die Einsichten in diese grundsätzlichen Zusammenhänge müssen befördert werden.

¹³ Quelle: Max-Planck-Institut f. Meteorologie, Hamburg

solarcomplex

- ist ein im Jahr 2000 als GmbH gegründetes Bürgerunternehmen für Nachhaltigkeit und insbesondere Erneuerbare Energien in der Region Hegau / westl. Bodensee, getragen von zahlreichen Bürgern, Firmen und Initiativen als Gesellschaftern.
- wirkt als Interessenvertretung für die Veränderung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu Gunsten solarer Energien und Rohstoffe.
- setzt wirkungsmächtige Projekte um, die die Zuverlässigkeit, technische Reife und Unerschöpflichkeit der erneuerbaren Energien demonstrieren und wird unternehmerisch tätig, z.B. mit gemeinschaftlichen Photovoltaik-Anlagen, eigenen Kraftwerken auf Basis erneuerbarer Energien oder als Anbieter von Energie-Einspar-Contracting.
- hat das Ziel, die Energieversorgung der Region bis 2030 weitgehend auf erneuerbare regionale Quellen umzubauen (also atomare und fossile Energien vollständig zu ersetzen).
- versteht eine solare Energie- und Rohstoffversorgung als zentrale Voraussetzung für die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und für eine nachhaltige Wirtschafts- und Lebensweise.
- sieht sein Ziel als ehrgeizige aber durchaus reale Vision an, als eine gemeinsame historische Aufgabe am Beginn des 21. Jahrhunderts zu der es keine vernünftige Alternative gibt.
- bietet eine Möglichkeit für jeden Einzelnen, sich im Rahmen seiner Möglichkeiten am Umbau zur Nachhaltigkeit zu beteiligen und von den daraus resultierenden Zukunftschancen zu profitieren.

solarcomplex – die Gesellschafter

Gegründet wurde **solarcomplex** im Herbst 2000 als Bürgerunternehmen von 20 Menschen aus der gesamten Region Hegau / westlicher Bodensee, von Stockach-Mühlingen bis Rielasingen, von Hilzingen-Riedheim bis Konstanz. Bei Drucklegung der Studie Anfang 2002 wird das Unternehmen getragen von 70 Gesellschaftern, bis Mitte 2002 sollen es rund 100 sein. Sie kommen aus den verschiedensten Berufen, von A wie Architekt bis Z wie Zahntechniker. Es breitet sich ein Bewußtsein aus, daß das Prinzip der Nachhaltigkeit alle angeht und nur von allen gemeinsam umgesetzt werden kann. An **solarcomplex** sind Kommunalpolitiker über die Parteigrenzen hinweg ebenso beteiligt wie Energieingenieure, Handwerker und Wissenschaftler, Privatpersonen ebenso wie Umweltverbände und kleine und mittlere Unternehmen.

solarcomplex ist weiterhin offen für natürliche und juristische Personen, die am Netzwerk der Nachhaltigkeit mitarbeiten wollen. An den Tochtergesellschaften z.B. zum Betrieb von solaren Bürgerdächern sind Anfang 2002 weitere rund 200 Bürger beteiligt.

solarcomplex wird sich zu einem Regionalunternehmen im Streubesitz entwickeln, das in allen Bereichen der Erneuerbaren Energien tätig ist.

solarcomplex – die Arbeit

solarcomplex

- projiziert, baut und betreut Anlagen zur Energiebereitstellung in allen Bereichen der Erneuerbaren Energien. (Photovoltaik, Solarthermie, Wind, Wasser, Biomasse). Entweder als Bürgerbeteiligungsmodell oder in Eigenregie.
- bietet Energie-Contracting für Privatpersonen, Firmen und Kommunen an. Es werden technische Anlagen zur erneuerbaren Energiebereitstellung und Energieeinsparung vorfinanziert und über die eingesparten Kosten refinanziert. Hierzu gehört auch die Planung, Projektsteuerung und Ausführung von energieoptimierten Gebäuden aller Art sowie die Nachrüstung von bestehenden Gebäuden im Sinne der Öko-Effizienz.
- kümmert sich auch um die Entwicklung, den Aufbau und den Betrieb von Einrichtungen für eine ressourcenschonende Mobilität
- organisiert Weiterbildungsmaßnahmen in Form von Ausstellungen, Vorträgen und Seminaren und macht Bewußtseinsarbeit für die notwendige Nachhaltigkeits(R)evolution.
- wird sich mit seiner Geschäftstätigkeit bewußt auf den Bereich Hegau-Bodensee konzentrieren und will regionale Energie-, Wertschöpfungs- und Beschäftigungskreisläufe aufbauen und reaktivieren.

solarcomplex - der wissenschaftliche Beirat

solarcomplex wird bei der Umsetzung seiner Strategien und Projekte von einem wissenschaftlichen Beirat begleitet, der besetzt ist mit:

■ Prof. Dr. Hartmut Graßl

Direktor Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg

■ Prof. Dr. Peter Hennicke

Präsident Wuppertal Institut, Wuppertal

■ Prof. Dr. Rolf Kreibich

Direktor Institut für Zukunftsstudien
und Technologiebewertung, Berlin

Zielsetzung und Aufbau der Studie

Ziel der Potentialübersicht ist es, für das Aktionsgebiet von **solarcomplex** – die Region Hegau / westlicher Bodensee - eine fundierte Datenbasis zusammenzustellen, aus der das grundsätzlich und langfristig verfügbare Potential aller erneuerbaren Energien in den verschiedenen Sparten deutlich wird.

Als erneuerbare Energien werden diejenigen Energieträger verstanden, die sich z.B. durch Nachwachsen im gleichen Zeitraum, wie sie „verbraucht“ werden, wieder neu bilden, oder die praktisch in unerschöpflichem Maße zur Verfügung stehen. Es sind dies insbesondere Wind- und Wasserkraft, Biomasse aus pflanzlicher und tierischer Herkunft in vielfältiger Darbietungsform und die direkte Sonnenstrahlung. Als ursprüngliche Energiequelle steht hinter fast allen erneuerbaren Energien die Sonne, einen Sonderfall stellt die Geothermie dar.

Erneuerbare Energien zeichnen sich durch zwei fundamentale Eigenschaften gegenüber den fossilen Energieträgern aus:

- Sie sind nicht am menschlich verursachten Treibhauseffekt - der CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre – beteiligt, im Falle der nachwachsenden Rohstoffe wird beim Wachstum soviel CO₂ gebunden, wie bei der Verbrennung freigesetzt wird
- Sie sind – definitionsgemäß – in ihrer Nutzung nicht auf die nächsten Jahrzehnte begrenzt, sondern stehen zeitlich unbegrenzt zur Verfügung

Geothermie, also Erdwärme wird ebenfalls zu den erneuerbaren Energien gezählt, weil sie gemessen an menschlichen Zeitmaßstäben unerschöpflich ist, wenn auch streng genommen ihre Nutzung zu einer minimalen Abkühlung des Erdinneren führt. Sie ist die einzige erneuerbare Energie, die weder direkt noch indirekt von der Sonne stammt, sondern zu etwa 30 %

Ursprungswärme aus der Zeit der Entstehung der Erde ist und zu etwa 70 % aus natürlichen radioaktiven Zerfallsprozessen im Erdinneren stammt. Geothermische Potentiale werden in der vorliegenden Übersichtsstudie ebenfalls in einem eigenen Kapitel behandelt, weil sie zur zukünftigen Energieversorgung speziell der untersuchten Region einen merklichen Beitrag leisten können.

Müll fällt in einer modernen Industriegesellschaft dauerhaft in erheblichem Maße an und enthält nutzbare Energie. Er ist insofern quasi erneuerbar, dennoch wird Müll im Rahmen dieser Studie nicht untersucht, weil das Prinzip der Vermeidung grundsätzlich Vorrang haben soll. Eine Ausnahme ist der organische Abfall aus Biomasse, welcher zukünftig nicht mehr als Abfall betrachtet und behandelt, sondern als Energiestoff genutzt werden sollte. Zum Biomüll werden im Kapitel „andere Biomasse“ quantitative Aussagen gemacht.

A propos Müll: Der mit Abstand größte Anteil unseres Mülls ist gasförmig, so setzt jeder Bundesbürger derzeit ca. 10 t Kohlendioxid pro Jahr frei ¹⁴. Diese Form der „Müllentsorgung“ ist zentraler Bestandteil unseres Klimaproblems.

„The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate / Alle Befunde zusammen deuten auf einen erkennbaren Einfluss des Menschen auf das globale Klima.“ ¹⁵

Seit diesem Satz in einem Bericht der hochkarätigen Forschungsgruppe IPCC an die UNO 1995 sind Klimaveränderungen durch den Menschen nicht mehr Spekulation, sondern wissenschaftlicher Konsens, nicht mehr Mythos sondern Tatsache. Es geht nicht mehr um das „ob“, sondern nur noch um das „wie schnell“ und das „wie kräftig“. Zur Untersuchung der Fragestel-

¹⁴ Wetterwende. Vision: Globaler Klimaschutz, Frankfurt 1999, Hartmut Grassl

¹⁵ IPCC, Climate Change 1995 – The Science of Climate Change.

Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, New York 1995

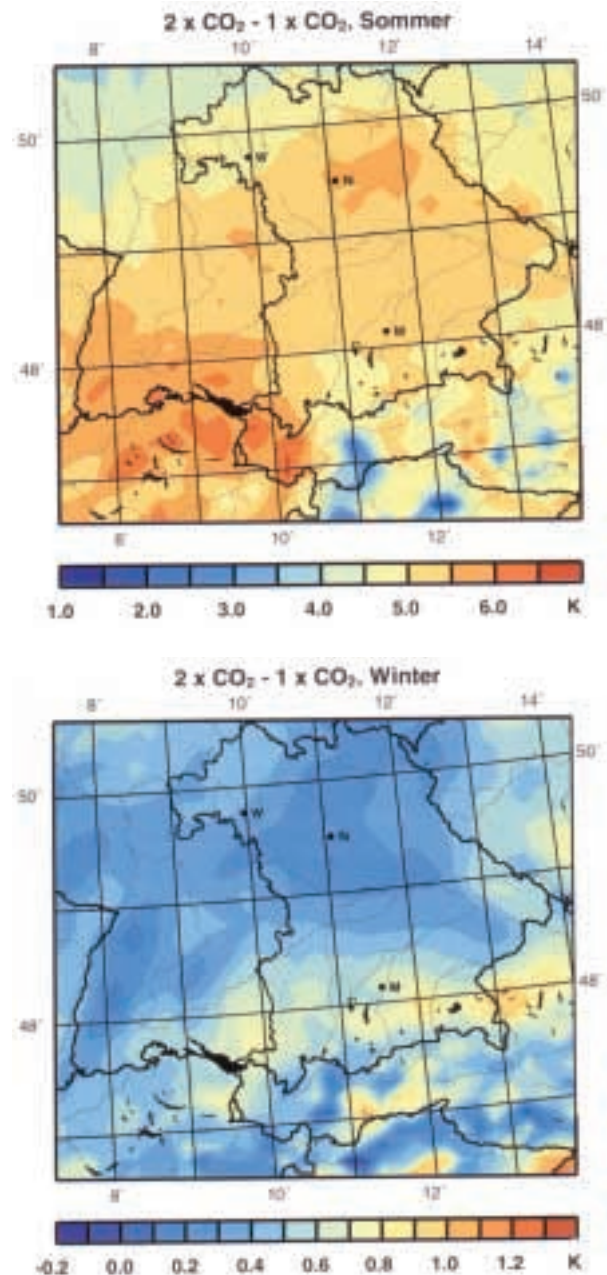
lung, wie sich die bereits eingetretenen und weiter abzeichnenden globalen Klimaänderungen regional auswirken, wurde auf Beschluss von Landtag und bayerischer Staatsregierung 1990 BayFORKLIM eingerichtet, der erste und bisher einzigartige Klimaforschungsverbund auf Landesebene. BayFORKLIM konnte sich auf eine bemerkenswerte Konzentration von Forschungseinrichtungen stützen und wurde vom Land Bayern mit insgesamt 32,4 Mio. DM finanziert. Die Untersuchungen wurden überwiegend auf der Grundlage eines 2xCO₂-Szenarios erstellt, welches davon ausgeht, das sich der Gehalt an Treibhausgasen gegenüber der vorindustriellen Zeit verdoppelt haben wird. Dieser Zustand dürfte etwa ab der Mitte des 21. Jahrhunderts erreicht werden.

Nach 9-jähriger Arbeit wurden 1999 die Ergebnisse der Arbeit in einem Abschlussbericht ¹⁶ präsentiert. Die nüchternen Aussagen für das Klima in der Mitte des 21. Jahrhunderts im Südwesten Bayerns und insbesondere im Bodenseegebiet sind:

- Die Sommertemperaturen werden um bis zu 6°C zunehmen
- Der sommerliche Niederschlag wird abnehmen
- Die Wintertemperaturen werden nur geringfügig um 0,5 bis 0,8 °C zunehmen
- Der Niederschlag wird im Winter deutlich zunehmen
- Der veränderte Niederschlag wird zur Häufung winterlicher Hochwassersituationen führen, im Sommer werden Anzahl und Dauer von Trockenperioden größer
- Die bereits heute deutlich erhöhte UV-Strahlung wird – selbst unter günstigen Voraussetzungen – noch über Jahrzehnte hinweg speziell im Winter und Frühling bedenklich hoch bleiben und stellt ein großes Gefährdungspotential dar.

Diese Aussagen treffen mit großer Plausibilität auf die untersuchte Region Hegau / westl. Bodensee zu. Sie machen die dringende Notwendigkeit eines kollektiven Handelns zur

Dämpfung der Klimaveränderungen nicht nur aus globaler Verantwortung, sondern auch aus eigener Betroffenheit deutlich.



Auch die westliche Bodenseeregion wird Klimaänderungen zu spüren bekommen: Veränderungen der Lufttemperatur gemäß BayFORKLIM im 2 x CO₂-Szenario

¹⁶ **Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen.**
Abschlussbericht des Bayerischen Klimaforschungsverbundes. November 1999

Vor dem Hintergrund der Klimaschutzdebatte ist die Reduktion fossiler Energieträger ein weithin akzeptiertes Nachhaltigkeitsziel. Zur Erreichung dieses Ziels müssen erneuerbare Energiepotentiale aktiviert werden, über deren Umfang erhebliche Unsicherheiten und Meinungsverschiedenheiten in der öffentlichen Diskussion, aber auch bei den Entscheidungsträgern bestehen.

Auf den verschiedenen politischen Ebenen, in verschiedenen wissenschaftlichen Gremien wurden Szenarien und Zeithorizonte zum Ausbau der erneuerbaren Energien entworfen. So ist es z.B. das erklärte Ziel der Bundesregierung, den Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtenergieversorgung bis zum Jahr 2010 zu verdoppeln.

In einer Gesamtschau werden die Potentiale erneuerbarer Energien in der Region Hegau / westl. Bodensee nach Sparten getrennt dargestellt. Ausgehend vom theoretischen Angebot wurden die unter technischen und anderen zwingenden Restriktionen grundsätzlich nutzbaren Potentiale sowohl auf der Strom- wie auf der Wärmeseite ermittelt. Dazu wurde auf bestehendes Datenmaterial in einer Querschnittsanalyse zurückgegriffen, wo nötig in Kooperation mit den entsprechenden Ämtern und Institutionen aktualisiert, in gewissem Umfang neu erhoben. Die besondere Qualität der Zielstellung liegt in der Kleinräumigkeit und Überschaubarkeit des untersuchten Gebietes. Im Gegensatz zu globalen oder nationalen Maßstäben wird eine konkrete Machbarkeit und Handlungsanleitung vor Ort sichtbar.

Für die regionale Wirtschaftsplanung und -förderung ebenso wie für Lokale-Agenda-21-Prozesse werden damit wichtige Planungsgrundlagen zur Verfügung gestellt.

Durch die besondere Berücksichtigung der Biomasse werden im Sinne einer Marktanalyse für eine krisengeplagte Forst- und Landwirtschaft konkrete Perspektiven aufgezeigt. Die noch abstrakte Vision vom zukünftigen „Landwirt als Energiewirt“ bekommt zahlenmäßig greifbare Dimensionen und konzeptuelle Hilfestellung. Ausgehend von den benannten Potentialen können abgestimmte regionalwirtschaftliche Strategien zu ihrer Mobilisierung entwickelt und angewandt werden.

Die Studie wird allen Entscheidungsträgern und der interessierten Öffentlichkeit in der Region kostenlos zur Verfügung gestellt, sie wird auf der Internetseite von **solarcomplex** (www.solarcomplex.de) im Servicebereich zum kostenlosen Download angeboten.

Eine weitergehende Verbreitung ist ausdrücklich erwünscht.



Das solarcomplex Aktionsgebiet, die Region Hegau / westl. Bodensee

Die Region Hegau / westlicher Bodensee in der Definition von **solarcomplex**, erstreckt sich in Ost – West – Richtung ungefähr von Konstanz bis Tengen und in Nord – Süd – Richtung ungefähr von Stockach bis zur Schweizer Grenze. Dieses Gebiet ist weitgehend deckungsgleich mit dem politischen Landkreis Konstanz, welcher rund 800 km² und 265000 Einwohner umfasst ¹⁷. Die Region Hegau / westlicher Bodensee als Aktionsgebiet von **solarcomplex** umfasst zusätzlich das nördliche Bodenseeufer von Bodman bis Uhldingen und damit ein annähernd kreisförmiges Gebiet von rund 1.000 km² mit rund 300.000 Einwohnern. Die vorliegende Studie beschränkt sich aus methodischen

Gründen allerdings auf die Fläche des Landkreis Konstanz, weil viele Daten auf Kreisebene oder entlang der politischen Kategorien erhoben werden.

Erneuerbare Energien sind in einem regional unterschiedlichen Mix an jedem Ort der Erde verfügbar. In einer zukünftig nachhaltigen, d.h. dauerhaft verfügbaren und umweltverträglichen Energieversorgung werden die erneuerbaren Energien einen rasch zunehmenden Anteil, in letzter Konsequenz die gesamte notwendige Energie zur Verfügung stellen. Innerhalb des Gesamtszenarios einer Energiewende gehen die Einschätzun-

¹⁷ Markungsfläche 2000 in km²: 817,76; Bevölkerung 2000: 264.540
Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

gen über das tatsächlich gegebene und das letztlich umsetzbare Potential erneuerbarer Energien weit auseinander.

Für die Diskussion auf allen gesellschaftlichen Ebenen sind deshalb belastbare Aussagen und Bewertungen fundamental und dringend notwendig.

Sowohl bei der Vision von **solarcomplex**, eine Region innerhalb der nächsten 30 Jahre ausschließlich oder zumindest weitgehend aus erneuerbaren Energien zu versorgen, als auch bei der vorliegenden Übersichtsstudie zur Machbarkeit dieser Vision durch die empirische Ermittlung der potentiellen Grundlagen wird ein geografisch klar umrissener und überschaubarer Raum untersucht.

Mit der vorliegenden Studie ist zum ersten Mal in einer Gesamtschau eine belastbare Aussage über das Potential erneuerbarer Energien in der Region Hegau / westlicher Bodensee möglich.

Im Kapitel „Potentiale im Überblick“ sind diejenigen Potentiale zusammengefasst, welche im Kapitel „Potentialermittlung im Einzelnen“ in den verschiedenen Sparten detailliert beschrieben und mittels der Hervorhebung in Kernaussagen kenntlich gemacht sind.

Ausgehend von den hier zusammengefassten Ergebnissen und Kernaussagen kann eine zukünftige Entwicklung des regionalen Energiesystems als Szenario entwickelt, beschrieben und verfolgt werden.

Verschiedene mögliche Zukünfte werden auf gesicherten Grundlagen vorstell- und planbar.

Datenquellen und Danksagung

Da sich die Potentiale erneuerbarer Energien einer Region definitionsgemäß bei nachhaltiger Bewirtschaftung im Laufe der Zeit nur unwesentlich verändern, konnte auf die Erhebung völlig neuer Datensätze zum Teil verzichtet werden und stattdessen in erheblichem Umfang auf bestehende Studien mit gleicher oder ähnlicher Zielsetzung zurückgegriffen werden. Es wurden rund dreißig Studien und Aufsätze zu diesem Themenkomplex ausgewertet. Im Hinblick auf das Datenmaterial fand besonders Verwendung die „Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee“¹⁸, angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart, im Hinblick auf den methodischen Ansatz außerdem „Regenerative Energien in der Region Stuttgart, Kriterien und Potenziale“¹⁹ vom gleichen Institut.

Auch wurde die Diplomarbeit „Energieholz in Baden-Württemberg“²⁰ - angefertigt von Frau Nicole Janet Meinhardt an der Fachhochschule Nürtingen - ausgewertet.

Es wurde in vielfältiger Weise Zahlenmaterial des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg in Stuttgart, des Amtes für Landwirtschaft in Stockach, der Forstämter in der Region und vieler anderer öffentlicher und privater Stellen ausgewertet und verwendet. Dafür ein Dankeschön an Herrn Peisert vom Staatlichen Forstamt Radolfzell, Herrn v. Detten vom Staatlichen Forstamt Stockach, Herrn Hahnloser vom Staatlichen Forstamt Engen, Herrn Lübbers von der Forstverwaltung Graf Douglas

und Prinz zu Fürstenberg in Stockach, Herrn Mussgay und Herrn Jöst vom Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur in Stockach.

Für das Kapitel über die Wasserkraft wurden eine Studie des Landes Baden-Württemberg, angefertigt vom Institut für Wasserbau an der Uni Karlsruhe sowie Angaben der Gewässerdirektion Rottweil ausgewertet.

Neu angefertigt wurde ein Gutachten für das Kapitel über die Windkraft, welches beim anerkannten anemos-Institut für Windanalyse²¹ in Auftrag gegeben wurde.

Bei der Bewertung des Zahlenmaterials für das Kapitel „Biomasse“ standen beratend zur Seite: Herr Bont vom Forstamt des Kantons Thurgau in Frauenfeld, Herr Dr. Rapp vom Landesgewerbeamt in Stuttgart, Herr Wiget, Fachingenieur für Hackschnitzelfeuerungen und Nahwärme-Verbundsysteme in Basel, Herr Böhni vom Ingenieurbüro "Böhni Energie und Umwelt GmbH" in Frauenfeld, Herr Pfau vom Landwirtschaftsamt Ravensburg und Herr Hall, Geschäftsführer der "Maschinenring Schwarzwald-Baar GmbH" in Donaueschingen.

Ein herzliches Dankeschön an dieser Stelle allen Beteiligten für das bereitwillige Erteilen von Auskünften, das zur Verfügung stellen von Daten, die sachdienlichen Hinweise und guten Gespräche.

- 18 Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee** - Juni 1990 angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart. Mitarbeiter: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hochrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz
- 19 Regenerative Energien in der Region Stuttgart, Kriterien und Potenziale** - März 2000 angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart. Mitarbeiter: J. Bläsing, W.-P. Gerth, K. Jorde, M. Kaltschmitt, K. Raab, G. Weinrebe, u.a. Auftraggeber: Verband Region Stuttgart
- 20 Energieholz in Baden-Württemberg. Potentiale und derzeitige Verwertung** - Diplomarbeit, Sommersemester 2000 angefertigt von Nicole Janet Meinhardt bei Prof. Dr. sc. Agr. Roman Lenz, Fachhochschule Nürtingen
- 21 anemos-jacob**, Büro für Windanalyse, Oldershausener Hauptstr. 22a, 21436 Oldershausen

Ein besonderer Dank geht an Kuhnle & Knödler Fotodesign aus Radolfzell für die ausgesprochen großzügige Überlassung und teilweise Anfertigung von Bildmaterial aus der untersuchten Region sowie an Florian Armbruster für das zeitaufwendige Schlußlayout unter erschwerten Bedingungen und Elvis für die unentgeltlichen Überstunden.

Danke auch an die Firma Inselmedia aus Konstanz, sie unterstützt die Verbreitung der vorliegenden Arbeit übers Internet durch kostenlosen technischen Support.

Quellen und Annahmen sind grundsätzlich mittels Fußnoten kenntlich gemacht und in der Quellen- und Literaturübersicht im Anhang aufgeführt.

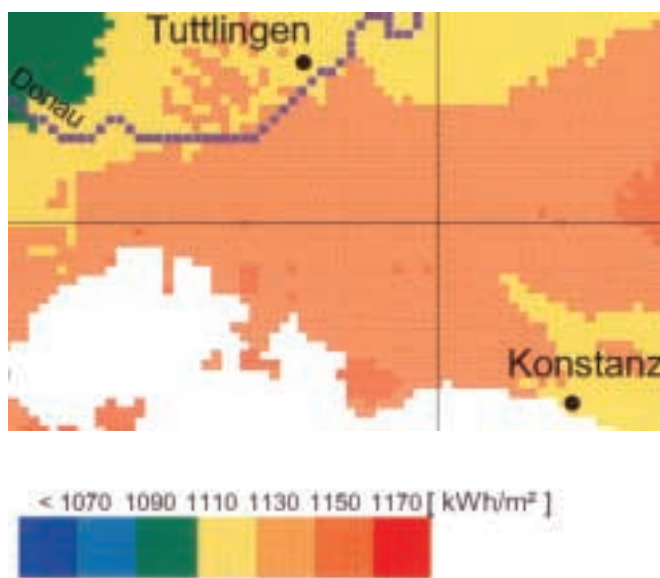
Die Anfertigung der Potentialübersicht wurde von PLENUM westlicher Bodensee gefördert.

Zum Potentialbegriff

In der Diskussion über Potentiale generell und folgerichtig auch über Potentiale erneuerbarer Energien werden die verschiedenen Potentialbegriffe nicht ausreichend unterschieden, so dass sehr unterschiedliche Werte „gehandelt“ werden, was für Verwirrung sorgt. Generell sollten vier Potentialbegriffe unterschieden und benannt werden:

- **Das theoretische Potential**
- **Das technische Potential**
- **Das wirtschaftliche Potential**
- **Das erschließbare Potential**

Das theoretische Potential beschreibt die nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten grundsätzlich angebotene Energie. Ein Beispiel dafür ist die auf der Gesamtfläche des Landkreises Konstanz eingestrahlte Solarenergie nach der Formel: Fläche x Globalstrahlung = theoretisches Potential. Dies sind $818 \text{ km}^2 \times \text{ca. } 1.100 \text{ kWh / m}^2 \sim \text{rund } 900.000 \text{ Gigawattstunden}$.



Die auf der Fläche des Landkreis Konstanz auftreffende Globalstrahlung liegt durchweg über $1.100 \text{ kWh pro Quadratmeter und Jahr}$ ²².

²² **Globalstrahlung in Baden-Württemberg, Mittlere Jahressummen aus dem Zeitraum 1981 – 2000**

Quelle: Deutscher Wetterdienst, Regionales Gutachtenbüro Hamburg nach Auftrag vom 04.12.2001

²³ So wurde etwa die Erforschung und Entwicklung der Atomenergie in der BRD in den 50er und 60er Jahren mit rund 50 Mrd. DM gefördert. Gelder, die im heutigen Preis für Atomstrom selbstverständlich enthalten sind. Auch die faktische Freistellung der AKW's von der Versicherungspflicht durch eine grotesk unzureichende Deckungssumme stellt eine Subventionierung in Milliardenhöhe und damit eine eklatante Privilegierung dar. Andere vergleichsweise mit geringem Risiko behaftete Unternehmungen – wie z.B. der Betrieb einer gemeinschaftlichen Photovoltaikanlage – unterliegen hingegen dem vollen Versicherungsnachweis.

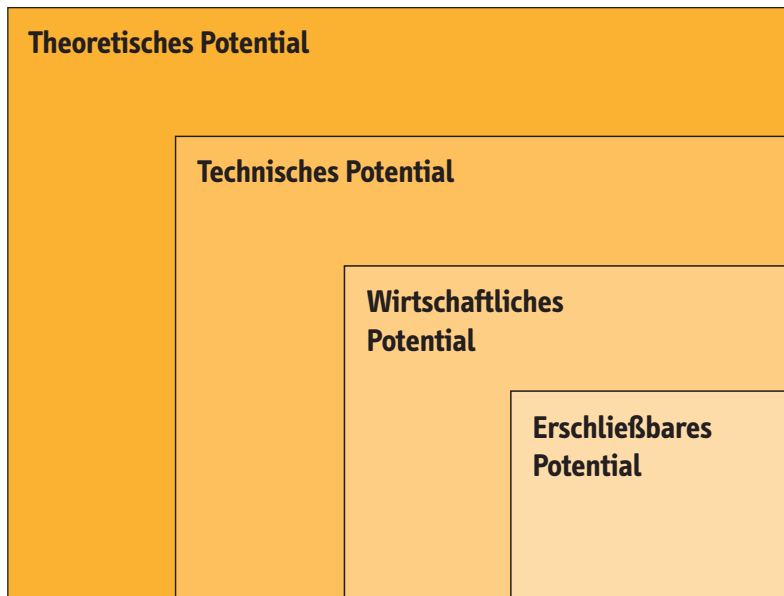
Das technische Potential beschreibt denjenigen Teil des theoretischen Potentials, der unter Zugrundelegung des technischen Entwicklungsstandes aber auch unter Berücksichtigung der geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen (z.B. Natur- und Denkmalschutzbestimmungen) erschlossen werden kann. Sowohl der Stand der Technik wie auch die Gesetzeslage sind dabei Variablen, die sich im Laufe der Zeit verändern.

Das wirtschaftliche Potential ist derjenige Teil des technischen Potentials, der unter Berücksichtigung der aktuellen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen interessant ist. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen resultieren vor allem aus den Preisen der konkurrierenden fossilen Energieträger bzw. den politisch definierten Förderbedingungen der erneuerbaren Energien, wobei anzumerken ist, daß selbstverständlich auch die aktuellen fossilen Energiepreise von politischen Entscheidungen der Vergangenheit und Gegenwart bestimmt sind ²³. Wirtschaftliche Rahmenbedingungen sind so gut wie nie Ausdruck eines reinen Marktes als vielmehr einer Vorgeschichte kollektiver und politischer Zielbeschreibungen.

Das erschließbare Potential wiederum ist jener Teil des wirtschaftlichen Potentials, der in absehbarer Zeit voraussichtlich tatsächlich erschlossen wird.

Vom theoretischen zum technischen zum wirtschaftlichen zum erschließbaren Potential nimmt also die Größenordnung kontinuierlich ab. Das theoretische Potential ist als einziges von naturgesetzlicher Objektivität und langfristiger Kontinuität, während die anderen drei von einer Vielzahl variabler und subjektiver Faktoren abhängen, die im folgenden kurz kommentiert werden sollen.

Potentialbegriff



Definiert durch:

Absolute Obergrenze bzgl. Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit, Wasserangebot, usw.

Geeignete Technologien
Verfügbarkeit von Material und Fläche
Speicherungsmöglichkeit

Kosten konkurrierender Techniken
und Energieträger
Energiepreisentwicklung

Ökologische Aspekte
Akzeptanzprobleme
Institutionelle Hemmnisse

Zum besseren Verständnis der Potentialbegriffe. Die vorliegende Studie konzentriert sich auf das technische, also technisch nutzbare Potential!

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf das technische, also technisch nutzbare Potential.

Zur Begründung: Es wird unterstellt, dass sich vor dem Hintergrund fortschreitender Verknappungs- und Verteuerungstendenzen der Fossilen Energien das wirtschaftliche Potential der Erneuerbaren Energien beträchtlich erweitern wird, dass sich also aktuell „unwirtschaftliche“ Potentiale innerhalb überschaubarer Zeitspannen in „wirtschaftliche“ Potentiale verwandeln werden. Außerdem muss zwischen einer volks- und einer betriebswirtschaftlichen Sicht unterschieden werden, weil die externen Kosten der konkurrierenden fossil-atomaren Energieträger sonst keine Berücksichtigung finden. So können betriebswirtschaftlich scheinbar „unwirtschaftliche“ Potentiale der Erneuerbaren unter Anrechnung der erheblichen volkswirtschaftlichen Schäden und Kosten durch Umweltschäden und Naturkatastrophen²⁴ bei den Fossilen Energien durchaus „wirtschaftlich“ sein. Weil sich diese Erkenntnis zunehmend durchsetzt, wird außerdem davon ausgegangen, dass sich das politi-

sche Umfeld und die gesellschaftliche Akzeptanz von Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung zu Ihren Gunsten verändern werden, so dass der Unterschied zwischen technischem und wirtschaftlichem Potential im Laufe der Zeit kleiner wird.

Die Frage, wann welche erneuerbaren Energien in welchem Umfang tatsächlich zur Verfügung stehen, wird hier nicht näher untersucht. Es geht darum, wieviel überhaupt zur Verfügung steht. Die Aufnahmefähigkeit der elektrischen Netze, die Entfaltung neuer Speichertechnologien (z.B. Wasserstofftechnologie oder Latentwärmespeicher) zur Marktreife, die Entwicklung von Instrumenten zur intelligenten Regelung und Steuerung dezentraler Erzeugernetze und viele andere Aspekte der technischen Evolution haben Einfluss auf das Verhältnis von Last- und Angebotskurven. Das grundsätzlich technisch verfügbare Angebot an erneuerbaren Energien kann so immer besser auch konkret erschlossen und genutzt werden. Verkürzt und salopp lässt sich das Ziel der vorliegenden Studie so formulieren:

Was gibt die Region überhaupt an erneuerbaren Energien her?

²⁴ Die volkswirtschaftlichen Schäden durch große Naturkatastrophen beliefen sich in der Dekade von 1990 – 1999 weltweit auf 607 Mrd. US\$. Ein erheblicher Teil davon muß klimatischen Veränderungen und damit der fossilen Energieversorgung zugerechnet werden. Der Trend ist weiter stark ansteigend. aus: **topics 2000**, Hrsg: Münchener Rückversicherungs AG, München

Ergebnisse im Überblick

In den nachfolgenden Kapiteln sind für die einzelnen Bereiche erneuerbarer Energiebereitstellung die Potentiale hergeleitet. Um die genannten Potentiale in ihrer Größenordnung bewerten zu können, soll eine Gegenüberstellung mit der aktuellen Energiebereitstellung aus überwiegend fossil-atomaren Quellen erfolgen.

Der Primärenergiebedarf ²⁵ (also die Gesamtheit der am Anfang der Bereitstellungsketten eingesetzten Energie) belief sich auf 5,14 t SKE oder rund 41.000 kWh pro Einwohner und Jahr. Bezogen auf den Landkreis Konstanz waren das insgesamt 1,36 Mio. t SKE oder 11,07 Mrd. kWh ²⁶ oder 11.070 GWh.

Weil gerade in den zentralistischen fossil-atomaren Umwandlungsketten hohe Energieverluste entstehen (z.B. bei der Stromerzeugung in Großkraftwerken rund 2/3 sogenannte Abwärme) weicht der Endenergieverbrauch aller Verbraucher von der ursprünglich eingesetzten Primärenergie allerdings deutlich ab, was in dem vorzunehmenden Vergleich berücksichtigt werden soll.

Der Endenergiebedarf aller Verbraucher (Haushalte, Gewerbe, Industrie und Verkehr zusammen) belief sich auf 3,54 t SKE oder rund 28.800 kWh pro Einwohner und Jahr. Wiederum bezogen auf den Landkreis Konstanz waren das 938.000 t SKE oder 7,63 Mrd. kWh ²⁷ oder 7.630 GWh.

Zum Vergleich eine Zahl aus dem vorausgehenden Kapitel: die Globalstrahlung auf den Lkr. Konstanz beträgt rund 900 Mrd. kWh, das sind 900.000 GWh.

Weil bei einer dezentralen Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen systemimmanent deutlich weniger Verluste auftreten, ist es sinnvoll, nicht den Primär- sondern den Endenergieverbrauch mit den im Rahmen dieser Studie ermittelten Potentialen in Beziehung zu setzen. (Beispiel: Wenn eine großflächige Kollektoranlage zur Brauchwassererwärmung eingesetzt wird, steht die geerntete Energie ohne nennenswerte Verluste als End- und damit Nutzenergie zur Verfügung. Würde die Brauchwassererwärmung aber mit einem elektrischen Durchlauferhitzer betrieben, müssen dem Stromverbrauch im Haushalt die Umwandlungsverluste im Großkraftwerk zugerechnet werden, so daß sich ein etwa dreimal höherer Primärenergiebedarf ergibt.)

Zur Deckung des Energiebedarfs im Verkehrssektor können aus heimischen erneuerbaren Energien keine nennenswerten Potentiale bereitgestellt werden (siehe auch Kapitel Rapsöl).

Stellt man in einer großmaßstabigen Betrachtung nur den gesamten Strom- bzw. Wärmebedarf des Lkr. Konstanz den gesamten Potentialen der erneuerbaren Energien im Lkr. Konstanz gegenüber, sieht die Bilanz wie folgt aus:

²⁵ Primärenergie: Energieinhalt von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden, (z.B. Energieinhalt von Steinkohle, Rohöl, Erdgas, u.ä.)
Endenergie: Energieinhalt von Energieträgern, die der Endverbraucher bezieht, also Primärenergie vermindert um den nicht energetischen Verbrauch, die Umwandlungsverluste und den Eigenbedarf bei der Stromerzeugung

²⁶ Angaben für 1999, Quelle: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, gem. Anfrage vom 13.09.2001

²⁷ ebenda

Endenergiebedarf im Landkreis Konstanz

Strom ~ 1500 GWh

Wärme ~3700 GWh

Potentiale Erneuerbarer Energien im Landkreis Konstanz

Strom

aus PV (nur Dachflächen) 135 GWh

aus Wasser 35 GWh

aus Wind 140 GWh

aus Biomasse-BHKWs 33 GWh

aus Geothermie 200 GWh

Gesamt 543 GWh

Wärme

aus Solarthermie (nur Dachflächen) 500 GWh

aus Holz 185 GWh

aus Biomasse-BHKWs 50 GWh

aus Energiepflanzen 65 GWh

aus Geothermie (insgesamt) 830 GWh

Gesamt 1630 GWh

Kürzestmögliches Fazit:

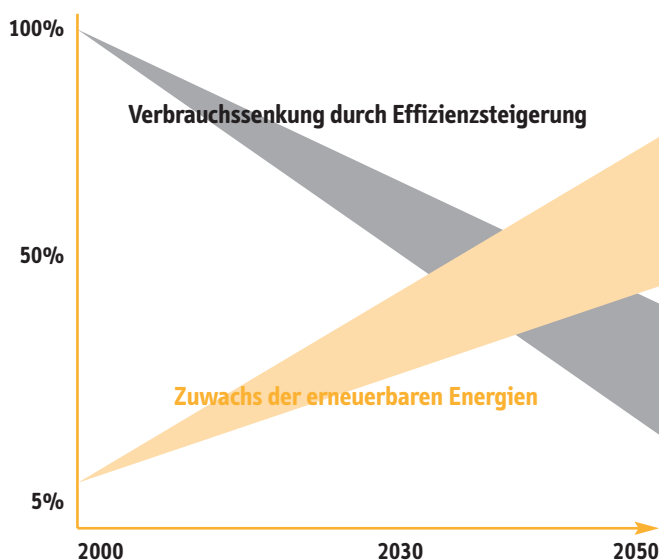
Aus der Gegenüberstellung ist unmittelbar ersichtlich, daß sich aus dem (langfristigen) Ziel, den gesamten Energiebedarf aus regionalen erneuerbaren Quellen zu decken, zwingend zwei Notwendigkeiten ergeben:

- Es geht nicht ohne die Verminderung des Energiebedarfs um einen Faktor 2 bis 3, d.h. eine wesentlich verbesserte Energieeffizienz.
- Neben den oberirdischen Potentialen müssen die bisher wenig beachteten geothermischen Potentiale mobilisiert werden.

Ausführliches Fazit in vier Anmerkungen:

Erste Anmerkung - Bedarf und Effizienz

Die Gegenüberstellung des aktuellen, fast ausschließlich fossil-atomar gedeckten Energiebedarfs mit den grundsätzlich mobilisierbaren Potentialen der Erneuerbaren Energien macht deutlich, daß nominal betrachtet die Potentiale erneuerbarer Energien gewaltig sind, sowohl in ihrer physikalisch-energetischen wie auch in ihrer regionalwirtschaftlichen Bedeutung. Relativ zum noch gewaltigeren aktuellen Energiebedarf wird aber das notwendige Szenario einer Energiewende hin zu langfristig ausschließlich erneuerbaren Quellen nur erreichbar sein, wenn parallel zum Ausbau der erneuerbaren Energiebereitstellung auch Strategien zur Effizienzverbesserung konsequent vorangetrieben werden, kurz gesagt, wenn die Verbrauchskurve



Der Ausbau der Erneuerbaren Energien und die Verbesserung der Effizienz müssen sich „entgegenkommen“.

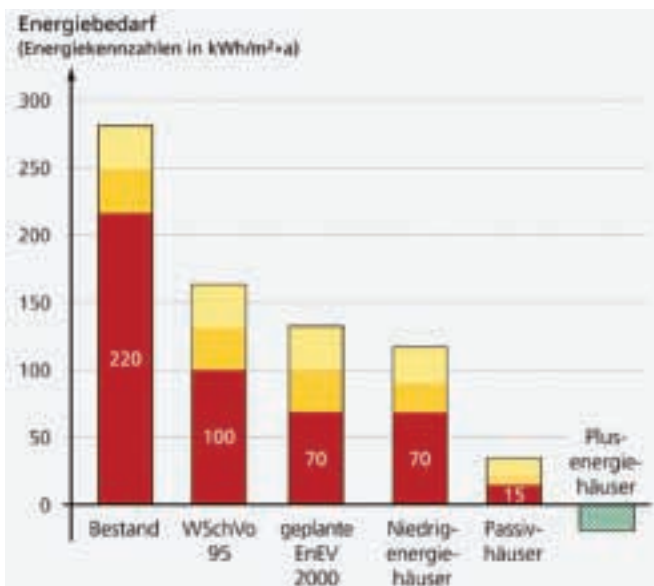
rückläufig ist und damit der steigenden Angebotskurve der Erneuerbaren „entgegenkommt“. Motivierend soll dabei folgende Beispielrechnung sein: Eine 2prozentige jährliche Effizienzverbesserung ergibt nach 30 Jahren einen halbierten Verbrauch, eine 3prozentige nach 40 Jahren gar eine Drittelung. Eine Einsparung von 2 – 3% pro Jahr – gemittelt über alle Verbraucher – ist technologisch durchaus machbar.

Im Gegensatz zu den sogenannten Entwicklungsländern, die in den nächsten Jahren im Sinne einer nachholenden Entwicklung ihre Energieverbräuche von einem aktuell niedrigen Niveau aus deutlich steigern werden (was aber ebenfalls maßgeblich aus erneuerbaren Quellen geschehen kann) ist in den hoch entwickelten Industrienationen eine Entkoppelung von wirtschaftlicher Entwicklung und Energieverbrauch sowohl technisch möglich als auch bereits eingetreten und gesamtwirtschaftlich, d.h. unter Einbeziehung der Ökologie, dringend notwendig.

Um das Handlungsziel einer umweltverträglichen Energieversorgung zu erreichen, sind geeignete Umsetzungsstrategien gefragt. Zentrale Bedeutung kommt in einer zukunftsfähigen Energiepolitik der Faktor-Vier-Strategie²⁸ zu. Verkürzt gesagt, geht diese Strategie davon aus, daß Energieverbrauch kein Selbstzweck, sondern Mittel zum Zweck ist, nämlich Mittel zur Schaffung bestimmter Produkte, Dienstleistungen und Komfortvorstellungen und daß dieses Mittel zukünftig wesentlich effizienter eingesetzt werden kann und muß.

Die Komfortvorstellung eines angenehm temperierten Gebäudes kann in einem schlecht gedämmten Gebäude mit einem hohen Energieeinsatz von über 250 kWh pro Quadratmeter und Jahr realisiert werden, in einem intelligenten Passivhaus aber mit 15 oder weniger kWh.

²⁸ Die Faktor-Vier-Strategie wurde gemeinsam entwickelt vom amerikanischen Energievordenker Amory Lovins und seinem Rocky Mountain Institute und Ernst-Ulrich v. Weizsäcker mit dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Sie veröffentlichten gemeinsam: **Faktor vier, Doppelter Wohlstand – halbiertes Verbrauch**, München 1997
Ernst Ulrich v. Weizsäcker, Amory B. Lovins, L. Hunter Lovins, außerdem: **Voller Energie. Die globale Faktor-Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg**, Frankfurt 1999
Amory Lovins, Peter Henricke



Die Machbarkeit von Effizienzsprüngen, Beispiel „Passivhaus“-Standard

Dieses Beispiel zeigt, daß bezogen auf einzelne Aufgabenstellungen sogar Effizienzsteigerungen um einen Faktor 10 oder mehr machbar sind. Die vorhandenen Energieeinsparpotentiale können und müssen also durch geeignete Strategien mobilisiert werden.

Die umfassende Aufzählung konkreter Maßnahmen und Möglichkeiten zur Umrüstung, Sanierung und Modernisierung bestehender Systeme, Anlagen und Gebäude im Sinne der Faktor-Vier-Strategie sprengt bei weitem den Rahmen dieser Potentialübersicht, sie hätte mindestens den gleichen Umfang ²⁹.

Es sei darauf hingewiesen, daß bei **solarcomplex**, seinem wissenschaftlichen Beirat und seinen Gesellschaftern das notwendige Know-How vollumfänglich vorhanden ist, um die Einsparpotentiale im Sinne von Faktor-Vier zu aktivieren, damit den im Rahmen dieser Übersicht benannten Potentialen Erneuerbarer Energien entgegenzukommen und insgesamt eine nachhaltige Zukunftsentwicklung zu erleichtern. Siehe übernächste Seiten.

²⁹ Der Katalog umfasst in vielfältigster Ausformung Maßnahmen zur Reduzierung

- des Raumwärmebedarfs durch außenliegende Wärmedämmung, bessere Fenster, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Modernisierung der Heizungsanlagen im Altbau, Orientierung zum Passivhaus-Standard im Neubau
- des Energiebedarfs für Licht und elektrische Geräte

Zweite Anmerkung zur Geothermie

Auffallend ist das große technische Angebotspotential der Geothermie, sowohl strom- wie wärmeseitig, Es wurde im Verhältnis zum tatsächlich verfügbaren Angebot sehr konservativ abgeschätzt, detailliertere Ausführungen zur besonderen Problematik der Potentialabschätzung geothermischer Energien im Kapitel 4.6.

In der breiten öffentlichen Diskussion hat die Geothermie einen Stellenwert umgekehrt proportional zu ihren großen Potentialen. Sie ist bisher deutlich unterrepräsentiert. Ein Grund mag sein, daß im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energien, deren Investitionsbedarf sich im Rahmen des privat machbaren bewegt, die Kosten für Bohrungen in mittlere und große Tiefen im Bereich mehrerer Millionen Euro liegen.

Dritte Anmerkung zur wirtschaftlichen Bedeutung

Die sogenannte Energiewende sollte neben der Abwendung dramatischer wirtschafts- und friedenspolitischer sowie klimatischer Gefahren auch durch eine positiv besetzte Motivation, nämlich die innewohnenden Chancen beflügelt werden. So sind die aufgezeigten Potentiale erneuerbarer Energien ein Schlüsselement regionaler Wirtschaftsförderung, weil ihre Erschließung

- als heimische Energien die Importkosten für Primärenergie senkt und weil die Energiekosten der erneuerbaren Energien systembedingt im regionalen Wirtschaftskreislauf bleiben, also Wertschöpfung vor Ort bilden.
- neue Arbeitsplätze in Handwerk und technischen Dienstleistungsberufen schafft, sowohl in der Produktion wie auch bei der Installation und Wartung der eingesetzten Technologien
- die wirtschaftliche Stellung der Forst- und Landwirtschaft stärkt

- des Energiebedarfs für Licht und elektrische Geräte

- des Prozesswärmebedarfs

- des Kraftstoffverbrauchs aber auch eine

- Verbesserung der Energieberatung in allen gesellschaftlichen Bereichen

- Umorientierung vom Verkauf des Energieträgers zum Verkauf der Energiedienstleistung, Contracting, u.ä.

- die volkswirtschaftlichen Folgekosten aus den Umweltschäden fossiler und atomarer Energieerzeugung senkt, welche letztlich über Steuerlast, Versicherungsprämien, u.ä. individuell bezahlt werden
- Zukunftstechnologien mit auch überregionalen Marktchancen repräsentiert
- der technologischen Modernisierung der Wirtschaft Impulse gibt, die gleichzeitig ökologisch verträglich sind

Stichwort Wertschöpfung: Auch wenn ein gewisser Teil der jährlichen Energiekosten von derzeit etwa 750 Mio. Euro³⁰ im Verteilungssystem innerhalb des Landkreises Konstanz verbleibt, so fließt doch der grössere Teil in entgegengesetzter Richtung der fossil-atomaren Energieströme aus der Region ab. Mit dem schrittweisen Ausbau der heimischen erneuerbaren Energien kann der in der Region verbleibende Anteil entsprechend erhöht werden.

Durch eine systematische Mobilisierung der energetischen Potentiale³¹ von Biomasse aus Forst- und Landwirtschaft können wirtschaftliche Wertschöpfungspotentiale in der Größenordnung von jährlich mindestens 10 Mio. Euro³² erschlossen werden. Dieses ist gleichbedeutend mit der Erhaltung der noch verbliebenen landwirtschaftlichen Betriebe in der Region sowie der Sicherung bzw. Erhöhung der Zahl ihrer Beschäftigten und der Sicherung bzw. Verbesserung ihrer Ertragslage. Durch integrierte Konzepte politischer und wirtschaftlicher Maßnahmen kann diese Wertschöpfung in der Region freigesetzt werden.

Vierte Anmerkung zur Bereitstellung

In dem Maße, wie die Erneuerbaren Energien nicht mehr eine nur minimale Ergänzung zu den „herkömmlichen“ Energien sind, sondern eigentliche Hauptenergiequelle werden, wird die bedarfsgerechte Bereitstellung „rund um die Uhr“ und „das ganze Jahr“ zu einem entscheidenden Kriterium. Was die oft diskutierten Angebotskurven der erneuerbaren Energien angeht („Die Sonne scheint ja nicht immer“), so ist in einem erneuerbaren Energiemix der Zukunft die Notwendigkeit zum Ausgleich von Angebots- und Bedarfskurven und zur Speicherung von Energien allerdings geringer als vielfach angenommen. Die verschiedenen Angebotsformen der Erneuerbaren Energien haben nämlich sowohl im Tages- wie auch im Jahresverlauf eine natürliche Tendenz zum Ausgleich, bezogen auf den Gesamtenergiebedarf bleiben Schwankungen in der Größenordnung von 10 - 25%, die des Ausgleichs durch eine intelligente technische Regelung bedürfen. So ist Geothermie reine Grundlast, die Wasserkraft im untersuchten Gebiet ebenfalls. Photovoltaische Potentiale stehen nur tags und vermehrt im Sommerhalbjahr zur Verfügung, umgekehrt Wind tags und nachts mit einem Übergewicht im Winterhalbjahr. Biomasse stellt bereits eine gespeicherte Form von Sonnenenergie dar, sie kann transportiert und im Bedarfsfall abgerufen werden. So können Biogas-Anlagen problemlos den ganzen Tag Biogas produzieren und in einem Tagespeicher zwischenlagern, aber nur nachts in BHKW's verstromen. Holz in jeder Darbietungsform ist ebenfalls bereits gespeicherte Bioenergie und kann bedarfsgerecht eingesetzt werden. Wasserstoff, sofern aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen, kann zukünftig ebenfalls eine sinnvolle Form der Speicherung sein.

³⁰ Die Pro-Kopf-Energiekosten belaufen sich laut Statistischem Bundesamt auf ca. 3.000 Euro /Jahr. Darin enthalten sind alle privaten Kosten für Strom, Heizöl und Treibstoffe aber auch die in den Preisen aller anderen Güter und Dienstleistungen enthaltenen anteiligen Energiekosten.

³¹ Der Aufbau einer leistungsfähigen regionalen Holz-Energie-Wirtschaft wird von solarcomplex mit Beteiligung zahlreicher Projektpartner in den nächsten Jahren in Angriff genommen. So findet am 15./16. November eine Großveranstaltung „Holzforum 2002“ auf der Insel Mainau statt.

³² 30 GWh Strom aus Biomasse x 10 cent/kWh Einspeisevergütung (laut EEG, bei einer installierten Leistung bis zu 500 kW, was bei so gut wie allen Anlagen der Fall sein dürfte) = 3 Mio. Euro
235 GWh Wärme x 0,03 cent/kWh unterer Wärmepreis = 7 Mio. Euro

Eine zukünftig nachhaltige, also unerschöpfliche und ökologisch verantwortbare Energiestruktur ist auf einen breiten Energiemix angewiesen. Jede erneuerbare und CO₂-neutrale Ressource wird gemäss ihren spezifischen Eigenschaften mit-helfen, gewisse Segmente der Energieversorgung zu decken.

Die Größenverhältnisse zwischen derzeitigem Energiebedarf und erneuerbaren Potentialen machen die Wichtigkeit und Unverzichtbarkeit jeder einzelnen Sparte deutlich.

Dabei ist es wenig förderlich, die eine erneuerbare Ressource durch eine andere zu diskreditieren. Dies sei auch an die Adresse jener Freunde und Befürworter erneuerbarer Energien gesagt, die sich in blinder Begeisterung auf eine und nur eine bestimmte Ressource eingeschworen haben. Jede Region wird ihren ureigenen Mix finden und finden müssen. Für die untersuchte Region Hegau / westl. Bodensee sind mit dem vorliegenden Band die wesentlichen Zahlen auf dem Tisch. Die hier lebenden Menschen insgesamt, insbesondere aber die Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft sind aufgefordert und auf der vorliegenden Basis auch in der Lage, den richtigen Mix zu erfinden.

Firmen aus der Region, die sich für den zügigen Ausbau der erneuerbaren Energien einsetzen:

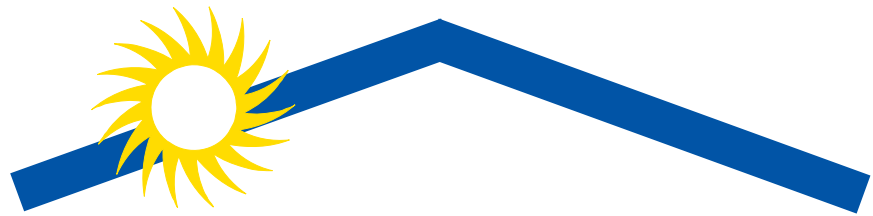
SOLAR-duscher



Die Energiekosten steigen stetig, duschen und baden darf kein Luxus werden. Sprechen Sie mit uns, wir bringen Ihnen die Sonne in Ihr Haus.

Sanitär Schwarz

Zeppelinstr. 5, 78239 Rielasingen
Tel. 0 77 31 / 9 32 80, Fax 2 85 24



- Energieberatung
- Energiekonzepte
- Planung von
 - thermischen und photovoltaischen Solaranlagen
 - Holz(Biomasse)-Anlagen
 - geothermischen Anlagen
 - Windkraftanlagen

*Auf die Sonne bauen,
mit der Natur planen.*



Ingenieurbüro RAINER BEHN

Görresstraße 20
78224 Singen
Tel. 0 77 31 / 9 40 33
Fax 0 77 31 / 9 40 34
Rainer.Behn-Energie@t-online.de



GERK

Innovative Energiesysteme

- Photovoltaik von 1-150 KWp
- allgemeine Elektroinstallation
- Solarthermische Groß- und Kleinanlagen
- Sanitäranlagen, Bäder, Regenwassernutzung
- Brennwertheizungen, Pellets etc.

NEU! Schlüsselfertige Komplettsanierungen rund ums Haus mit Betreuung von A – Z!

seit 10 Jahren

Weißmühlenstraße 4 • 78333 Stockach
Telefon (0 77 71) 6 33 04 • Fax (0 77 71) 6 33 05

E+I

Energie und Installationsplanung
Ingenieurbüro für



Innovativ

Ökologisch

■ technische Gebäudeausrüstung

■ regenerative Energietechnik

■ Energieberatung

Ökonomisch

Unabhängig
von Liefer-
interessen

■ Messtechnik am Bau

■ Umwelttechnik

Wir planen zu Ihrem Nutzen!

Im Grund 12 78267 Aach Wolfgang Sagawe Dipl. Ing. / FH
- Beratender Ingenieur - Tel. 07774-920863 Fax 07774-920862
E-Mail EundlIng.Buero@t-online.de Homepage www.Eundl.de

Wir drucken

Digital und konventionell

1- und mehrfarbig
Visitenkarten, Formulare,
Briefbogen, Briefhüllen,
Prospekte, Broschüren,
Bücher usw.

KUGLER DRUCK

Obere Gießwiesen 34
78247 Hilzingen
Tel. 07731 / 8797-0
Fax 07731 / 8797-60
e-mail: service@kuglerdruck.com



meine Lebensquelle

natürliches Mineralwasser

...und mehr

denk global
trink lokal

Randogger Otilionquelle

Infos unter Tel. (07731) 9300-20 oder <http://www.randogger.de>

Schon 300 kWp am Netz! Leistung pur.

- SOLARSTROMANLAGEN
- SOLARTHERMISCHE ANLAGEN
- BLOCKHEIZKRAFTWERKE
- HOLZPELETTHEIZUNGEN
- REGENWASSERNUTZUNG
- SANITÄR- UND HEIZUNGSBAU

sunny solartechnik
Gustav-Schwab-Straße 14
78467 Konstanz

Tel. 07531/60156
Fax 07531/60047

info@sunny-solartechnik.de
www.sunny-solartechnik.de
www.phoenixsolar.de

 Ing. Büro und Meisterbetrieb
solartechnik

 PHONIX
Solarzentrum

Recycling + Entsorgung

Wer:

- Gewerbe • Industrie • Haushalte • Kommunen
- Gemeinden • Landkreise • Vereine

Wie:

- Container 1,1 cbm – 40 cbm • Selbst-Preß-Container • Sammelfahrzeuge • Annahme von Abfällen in unserem EZ • Beratung

Was:

- Bauschutt, Baustellenabfälle • Wertstoffgemische
- unsortierte Rest- und Wertstoffe • Holz, Glas, Schrott, Metalle • Elektronikaltgeräte • Papier, Karton • Verpackungen aller Art • Grünabfälle, Wurzelholz • Kompletentsorgung

Speziell:

- Naturstoffzentrum NSZ – Lieferung von Humus, Komposterde, Rindenmulch, Sand, Kies, Buchenbrennholz aus Forstwirtschaft • Asbestentsorgung nach TRGS 519

Bitte fragen Sie uns!

Öffnungszeiten:

Mo. – Fr. 07.30 – 16.30, Sa. 08.00 – 12.00

www.riester-recycling.de • email: verwaltung@riester-recycling.de

Entsorgungsfachbetrieb
nach § 52 KrW-/AbfG
Mittelstandszertifikat
02 8-9 08-0498 der
Entsorgungsgemeinschaft
schaff 802-West e.V.



Riester

Gewerestr. 22 – 28
78315 Radolfzell

Photovoltaik (auf 50% der verfügbaren Dachflächen)

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die direkt eingestrahlte Sonnenenergie zu nutzen.

Die Instrumente der solaren Architektur zur „passiven“³³ Nutzung von Sonnenlicht und Sonnenwärme werden noch immer unterschätzt und zu wenig angewandt. Vereinzelt gibt es vorbildliche Konzepte und bauliche Umsetzungen, aber die breite Anwendung läßt noch auf sich warten. Als aktive Elemente stehen in erster Linie solarthermische Systeme (Solarkollektoren) zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung sowie Photovoltaik-Anlagen (Solarzellen) zur Stromerzeugung in technisch ausgereifter Form zur Verfügung.

Grundsätzliches:

Bereits vor über 150 Jahren wurde von Alexander Bequerel der „Photoeffekt“ entdeckt, daß Licht in Halbleiterwerkstoffen eine freie Ladung erzeugt. Seit den sechziger Jahren wurden Satelliten mit „Sonnensegeln“ zur Stromversorgung ausgestattet. Solarzellen bestehen aus zwei sehr dünnen Schichten eines Halbleiters, aktuell meistens Silizium. Fällt Sonnenlicht auf das entsprechend technisch bearbeitete Material, baut sich eine Gleichspannung auf, die an Anschlußkontakten abgegriffen werden kann. Um den Strom ins öffentliche Netz einspeisen zu können, muß er mittels eines sogenannten Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt werden.

Aktuell sind weltweit im Verhältnis zum gesamten kommerziellen Strombedarf nur winzige Erzeugungskapazitäten aus Photovoltaik installiert, allerdings wurden in den vergangenen Jahren beträchtliche Steigerungen erreicht und werden weiterhin für die nächsten Jahre und Jahrzehnte vorhergesagt. Unter dem Einfluss verschiedener staatlicher Marktanreizprogramme (BRD, Japan, USA) werden weltweit die Produktionskapazitäten vervielfacht und verschiedene Studien gehen von weiteren jährlichen Zuwachsraten der neu installierten Kapazitäten von 20 bis 50% aus³⁴.

Zur Abschätzung des Potentials an photovoltaischer Stromerzeugung müssen Vorannahmen definiert werden. Es erscheint - von Ausnahmen abgesehen - weder sinnvoll noch wünschenswert, andere als ohnehin bereits überbaute Flächen mit Photovoltaik-Modulen zu belegen. Umgekehrt ist nicht einzusehen, warum alle ohnehin überbauten und damit für natürliche Kreisläufe weitgehend verlorenen Flächen nicht mit einer zusätzlichen Funktion der Energieerzeugung versehen werden sollten, vorausgesetzt, daß keine baulichen, statischen, denkmalschützerischen oder sonstigen gewichtigen Gründe dagegen sprechen. Außerdem müssen die fraglichen Flächen selbstverständlich ausreichend zur Sonne ausgerichtet und unverschattet sein. Ebenso selbstverständlich wie sich in einem majestätischen Buchenwald alle Bäume dem Lichte entgegen recken, können in einer solar optimierten Architektur der Zukunft alle der Sonne zugewandten Gebäudeflächen aktiv oder passiv energetisch genutzt werden.

³³ Der Begriff des „Passivhauses“ ist unglücklich, weil mißverständlich. Auch wenn keine Technik zur aktiven Bereitstellung von Energie gebraucht wird, ist doch das Erstellen einer geeigneten Konzeption eine ausgesprochen aktive geistige Leistung. Ein Passivhaus ist eigentlich ein sehr aktives Haus, ist es doch in der Lage, sich intelligent mit freier Energie aus der Umgebung zu versorgen, ohne zusätzlich fossile Energien heranzuführen.

³⁴ **Photovoltaik 2000. Markt, Akteure, Prognosen.** Studie der Bank Sarasin zu Entwicklungschancen und zukünftiger wirtschaftlicher Bedeutung der Photovoltaik, Basel 2000, Zitat: Das durchschnittliche jährliche Wachstum des PV-Marktes lag von 1990 bis 1996 bei knapp über 10%, bis es 1997 mit einem Wachstum von 43% geradezu explodierte. 1998 ging die Zuwachsrate wieder auf 20% zurück. In 1999 wuchs der PV-Markt erneut um 30%. Der Ausblick für Japan, Europa und die USA ist weiterhin sehr positiv. Daneben scheint auch das technologische Umfeld reif für eine weitere Expansion. So konnten durch Verfahrensoptimierungen die Kosten für Solarzellen und -module in den letzten Jahren stetig gesenkt werden. Aufgrund des sehr günstigen politischen Umfeldes, der für die einzelnen Marktsegmente antizipierten Entwicklungen sowie dem geplanten Ausbau der Produktionskapazität der wichtigsten Photovoltaik-Unternehmen sehen wir bis zum Jahr 2010 eine weitere Marktexpansion mit durchschnittlichen geometrischen Zuwachsraten von rund 20% voraus.



Das Leben strebt zum Licht

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Es wurde eine zahlenmäßige Abschätzung der Dachflächen auf allen Gebäuden im Lkr. Konstanz unter Zugrundelegung folgender Annahmen getroffen (zunächst ohne Unterscheidung, ob die Flächen solarthermisch oder photovoltaisch genutzt werden):

Für Wohngebäude:

■ Alle Wohngebäude haben entweder geneigte Dächer mit einer Dachneigung von 30 bis 65 Grad oder Flachdächer

■ Mittlere Dachflächen für Wohngebäude ³⁵

werden angenommen für

Gebäude mit 1 Wohnung	116 m ²
Gebäude mit 2 Wohnungen	143 m ²
Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen	220 m ²

■ Die Anzahl der Wohngebäude ³⁶ dieser Typen beträgt für

Gebäude mit 1 Wohnung	26342
Gebäude mit 2 Wohnungen	11330
Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen	11430

■ Das Verhältnis von Wohngebäuden mit geneigten Dächern zu denen mit Flachdächern beträgt für

Gebäude mit 1 Wohnung	95% / 5%
Gebäude mit 2 Wohnungen	98% / 2%
Gebäude mit 3 und mehr Wohnungen	92% / 8%

■ Die Firstrichtungen von Wohngebäuden mit geneigten Dächern sind annähernd gleich verteilt, von der gesamten Fläche geneigter Dächer ist ein Segment von 70 Grad (+/- 35 Grad zur exakten Südausrichtung) geeignet, das sind rund 20% der gesamten geeigneten Dachflächen

■ Von diesen grundsätzlich geeigneten Flächen muß für Schornsteine, Dachfenster, Lüftungsschächte u.ä. „Hindernisse“, sowie Verschattung rund ein Fünftel abgezogen werden.

■ Auf Flachdächern können Kollektor- oder Modulreihen auf Gestellen sowohl in der Ausrichtung wie in der Neigung optimal zur Sonne ausgerichtet werden. Da sich aber die Reihen abhängig vom Sonnenstand und damit der geographischen Breite gegenseitig verschatten können, wird eine optimale Belegung in unseren Breiten dann erreicht, wenn etwa ein Drittel der Dachfläche mit Modulen belegt ist.

■ Analog zur Situation auf geneigten Dächern muß ein weiteres Fünftel der verbliebenen Fläche für bauliche Hindernisse abgezogen werden.

³⁵ Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee - Juni 1990 angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart Mitarbeit: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hochrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz

³⁶ Fortschreibung des Bestandes zum 31.12.2000 auf der Basis GWZ vom 25.05.1987. Quelle: Statistisches Landesamt, Stuttgart gemäß Anfrage vom 10.09.2001

Für Nichtwohngebäude:

- Der gesamte Bestand an Nichtwohngebäuden wird in Anlehnung an ähnliche Studien in vier Kategorien eingeteilt: in kleine, mittlere und große Nichtwohngebäude sowie Industriebauten
- Bei kleineren Nichtwohngebäuden werden in Bezug auf Ausrichtung, Dachneigung und Hindernisse die gleichen Annahmen getroffen wie für Wohngebäude (siehe oben)
- Bei den anderen drei Kategorien werden durchweg Flachdächer angenommen, es wird von denselben Annahmen wie bei Wohngebäuden mit Flachdächern ausgegangen
- Es werden mittlere Dachflächen zugrundegelegt für

Kleine Nichtwohngebäude	225 m ²
Mittlere Nichtwohngebäude	640 m ²
Große Nichtwohngebäude	1280 m ²
Industriebauten	6000 m ²

Geht man davon aus, daß zukünftig alle geeigneten Dachflächen unter Zugrundelegung der vorgenannten Annahmen energetisch genutzt werden, ergibt sich folgendes Gesamtpotential:

Auf Wohngebäuden mit 1 Wohnung	505.204 m ²
Auf Wohngebäuden mit 2 Wohnungen	262.685 m ²
Auf Wohngebäuden mit 3 und mehr Wohnungen	423.793 m ²
Auf Wohngebäuden gesamt	1.191.682 m²
Auf kleinen Nichtwohngebäuden	388.250 m ²
Auf mittleren Nichtwohngebäuden	219.851 m ²
Auf großen Nichtwohngebäuden	214.724 m ²
Auf Industriebauten	541.860 m ²
Auf Nichtwohngebäuden ³⁷ gesamt	1.364.685 m²
Auf allen Gebäuden gesamt	2.556.368 m²

Fazit: Es stehen rund zweieinhalb Millionen Quadratmeter geeignete Dachflächen auf Gebäuden zur Verfügung, die grundsätzlich solarenergetisch genutzt werden können. Geht man davon aus, daß diese Flächen zur Hälfte solarthermisch und zur Hälfte photovoltaisch belegt werden, entspricht dies einem Jahresertrag durch photovoltaische Stromerzeugung von ungefähr 135 Mio. kWh ³⁸, das sind 135 GWh.

Sinnvoll wird sein, jene Gebäude, in denen ein Warmwasserverbrauch gegeben ist, bevorzugt mit solarthermischen Anlagen auszurüsten, vor allem also Wohngebäude, und jene ohne nennenswerten Warmwasserverbrauch mit Photovoltaik zu belegen, vor allem also gewerbliche und industrielle Bauten.

³⁷ Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee - Juni 1990, angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart. Mitarbeit: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hochrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz

³⁸ Zugrundegelegt sind pro installiertem kWp ein Flächenbedarf von 8m² und ein Jahresstromertrag von 860 kWh.



Fassadenintegrierte Photovoltaik-Module mit Doppelnutzen beim ADAC in Hannover: Stromerzeugung nach oben und sommerliche Abschattung nach unten ³⁹

Diese Potentialabschätzung halten die Autoren der vorliegenden Studie dabei nicht für die Obergrenze, sondern für eine mittlere Abschätzung, weil selbst unter der Annahme, daß nicht alle beschriebenen Potentiale auf Gebäuden erschlossen werden, zahlreiche weitere Potentiale zur Kompensation zur Verfügung stehen. So sind grundsätzlich bei Gebäuden nicht nur Dachflächen, sondern auch die Fassaden energetisch nutzbar, was sich in zaghaften Anfängen bereits in den architektonischen Entwürfen und der gebauten Realität niederschlägt. Bei fassadenintegrierten Photovoltaik-Anlagen kann dabei ein sinnvoller Doppelnutzen erzeugt werden, in dem die Module nicht nur Energie erzeugen, sondern gleichzeitig die sonnenbeschienenen Fassaden beschatten und so einen wichtigen Schutz vor sommerlicher Überhitzung bieten.

Versiegelte Freiflächen

Neben der Nutzung der geeigneten Gebäude ist die „Ernte“ der Sonnenenergie auf versiegelten Freiflächen in der Diskussion und vereinzelt auch bereits in der Anwendung. Gerade die großen, bisher nicht überdachten Parkflächen vor Supermärkten, Bahnhöfen, Stadien, Hallen- und Freibädern u.a. Freizeiteinrichtungen, aber auch die bereits überdachten Parkflächen in Form von Parkhäusern, privaten Stellplätzen, Carports und Garagen kommen generell für eine energetische Nutzung in Frage. Fast jeder kennt den „lokalen Treibhauseffekt“ eines im Sommer in der Sonne abgestellten Fahrzeugs, die Temperaturen können dabei im Innenraum auf 70 – 80° Celsius steigen. Die Überdachung entsprechender Parkflächen verbindet also ebenfalls die Nutzung der Strahlungsenergie nach oben mit einer ausgesprochen wünschenswerten Abschattung und Kühlung nach unten.



Beispiele für Photovoltaikflächen über Stellplätzen, hierzulande (s.o.) und in Übersee: Kundenparkplätze der Sparkasse Stauffen im Breisgau ⁴⁰ und die mit 500kWp weltgrößte solar überdachte Parkfläche in Sacramento

Weil eine geeignete statistische Erfassung der Stellplätze im Lkr. Konstanz nicht verfügbar ist, erfolgt eine Abschätzung auf der Grundlage plausibler Annahmen. Die Zahl der für den ruhenden Verkehr reservierten Stellplätze dürfte die Zahl der Fahrzeuge grundsätzlich übersteigen, weil für jedes Fahrzeug in der Regel mehrere Standflächen vorgehalten werden, z.B. eine am Wohnort, eine am Arbeitsplatz, eine beim Einkaufs- und Freizeitort. Die Zahl der angemeldeten Fahrzeuge multipliziert mit der Stellfläche eines durchschnittlichen PKW gibt eine untere Orientierung.

Im Lkr. Konstanz sind dies $139.095 \text{ PKW}^{41} \times 10 \text{ m}^2 = 1.390.950 \text{ m}^2$. Würde mittelfristig nur jeder fünfte Stellplatz – insbesondere auf großen, relativ kostengünstig zu überdachenden Parkflächen - mit einer photovoltaisch genutzten Überdachung versehen, ergibt sich ein zusätzliches Potential zur Stromerzeugung von **jährlich 30 Mio. kWh**.

Die für versiegelte Freiflächen benannten Potentiale werden nicht in die Gesamtübersicht aufgenommen, sie sind ausdrücklich als Denkanstoß gemeint.

⁴⁰ Bildrechte: NTI AG, Stauffen im Breisgau

⁴¹ Bestand zum Stichtag 1. Januar 2001, Quelle: Statistisches Landesamt, Stuttgart gemäß Anfrage vom 13.09.2001

Es gibt einige andere intelligente Nutzungen im Sinne von Multifunktionalität, z.B. die Integration von Photovoltaik-Modulen in Lärmschutzwände. Eine Abschätzung erfolgt hierzu nicht, da sich die Potentiale innerhalb der Fehlertoleranz des bereits beschriebenen verlieren. Auch diese Nutzung ist lediglich als Anregung verstanden.



Lärmschutzwände mit Doppelnutzen: nach oben Energie ernten, zur Seite vor Lärm schützen. 100 kWp an der A13 in der Nähe von Chur (Schweiz) und Testfeld an der A 96 in Bayern ⁴²

Auch Solarkraftwerke auf bisher nicht versiegelten Freiflächen sind grundsätzlich möglich und zum Teil bereits im Einsatz. Aber, selbst wenn intelligente kombinierte Nutzungen denkbar sind, bei denen z. B. bestimmte Weidehaltungen mit großflächigen Solarkraftwerken vereint werden könnten, so ist in der Tendenz selbstverständlich eine Konkurrenz mit der ebenfalls angestrebten Erzeugung und Nutzung von Biomasse aus der Landwirtschaft gegeben. (Kapitel 4.5). Selbst vor dem Hintergrund, daß die landwirtschaftlich genutzten Flächen in Zukunft weiter abnehmen könnten (Stilllegungsflächen) und ein bestimmter Anteil an Brachflächen immer vorhanden ist und sein wird, bleibt die grundsätzliche Konkurrenz zwischen Nutzung der direkten Sonnenenergie und der in der Biomasse gespeicherten bestehen. Die Autoren gehen deshalb davon aus, daß in unserer Gegend Solarkraftwerke auf nicht versiegelten Freiflächen in absehbarer Zeit in keinem nennenswerten Umfang entstehen werden.



Sonne über dem Müllberg: 300kW Photovoltaik aufgeständert ⁴³

Deshalb finden auch die Stichworte „Lärmschutzwand“ und „nicht versiegelte Freiflächen“ keinen Niederschlag in der Gesamtübersicht und werden lediglich als Anregung verstanden.

⁴² Bildrechte: BINE Informationsdienst, Bonn

⁴³ Bildrechte: Markus Franken, Berlin

Solarthermie (auf 50 % der verfügbaren Flächen)

Grundsätzliches:

Die solarthermische Nutzung der Sonnenenergie geschieht in erster Linie mittels Solarkollektoren (collectere = sammeln), die „eingesammelte“ Wärme kann zur Warmwasserbereitung oder Unterstützung der Raumheizung verwendet werden. Der derzeit gängigste Kollektortyp ist der Flachkollektor, ein herrlich simples Bauteil. Einfallende Sonnenstrahlung trifft auf eine geschwärzte Platte, wo die elektromagnetische Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt wird. Die rückseitige Isolation und die frontseitige Glasabdeckung verhindern weitgehend das Entweichen der Wärme, der Kollektor ist eine Strahlungsfalle. Die Wärme wird durch ein Trägermedium (meist ein Wasser-Frostschutz-Gemisch) abgeführt. Ein Problem bei der thermischen Nutzung der Sonnenenergie stellt die Diskrepanz zwischen hohem Angebot aber vergleichsweise geringem Bedarf im Sommer und hohem Bedarf, aber vergleichsweise geringem Angebot im Winter dar. Zur Lösung dieses Problems müssen verstärkt Langzeitspeicher zum Einsatz kommen. Dies können große Wasserspeicher oder Latentwärmespeicher innerhalb von Gebäuden oder Erdwärmespeicher (Kies-Wasserspeicher, Wasserspeicher, Erdsondenspeicher, u.a.) im Freien sein.

Die solare Deckung des Warmwasserbedarfs im Sommerhalbjahr ist mit einer sehr hohen Deckungsrate und zu absolut vergleichbaren bzw. günstigeren wirtschaftlichen Bedingungen machbar und muß sich rasch zu einem ähnlich unumstrittenen Standard des Bauens entwickeln wie die Toilette mit Wasserspülung. Auch diese ist nicht etwa seit ewigen Zeiten, sondern

erst seit relativ kurzer Zeit eine zivilisatorische Selbstverständlichkeit. Es ist schlicht grober Unsinn, wenn in einer Jahreszeit, in der die Umgebungsenergie im Überfluss zur Verfügung steht, kostbare fossile (oder andere) Rohstoffe verbrannt werden, um Wasser zu erwärmen.

Auch die Heizungsunterstützung durch solarthermische Systeme wird zumindest im Neubau bei energetisch optimierten Gebäuden zukünftig eine zunehmende Bedeutung haben.

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

In Anlehnung an die grundsätzliche Ermittlung der geeigneten Dachflächen für Photovoltaik stehen bei fünfzigprozentiger Belegung durch solarthermische Systeme ebenfalls rund 1,25 Mio m² zur Verfügung. Das entspricht einem Wärmeertrag von jährlich 500 Mio. kWh, bzw. 500 GWh⁴⁴



Eine der größten Kollektoranlagen im Hegau auf einem Dach des Hegau-Klinikums Singen

⁴⁴ Wenngleich der Wärmeertrag eines Kollektors von verschiedenen Parametern wie Kollektor- und Speichertemperatur, Leitungsverlusten u.v.a. abhängt, kann als konservativer Wert ein Wärmeertrag von 400 kWh / m²a angenommen werden, aus: **Thermische Solaranlagen. Marktübersicht.** Hrsg. Öko-Institut Freiburg. 1994

Auch für die solarthermischen Potentiale gilt jene grundsätzliche Aussage des Kapitels zur Photovoltaik, daß über die geeigneten Dachflächen hinaus in erheblichem Maße auch Fassaden zur Verfügung stehen. Fassadenintegrierte Kollektoranlagen, die aufgrund ihrer Größe in der Regel zur Heizungsunterstützung dienen werden, sind in unseren Breiten mit einem hoch willkommenen Effekt ausgestattet, der Wirkungsgrad ist im Winterhalbjahr - bei tiefstehender Sonne – höher als im Sommerhalbjahr, der Ertrag fällt also bedarfsgerecht an und kann insbesondere in Kombination mit Niedertemperatur-Heizungssystemen sinnvoll verwertet werden.



Immer wieder ein Ansporn: der Blick über den Bodensee, hier großflächige fassadenintegrierte Kollektoranlage am Kolpinghaus in Dornbirn

Ähnlich wie im Kapitel über die Potentiale der Photovoltaik werden auch hier die Fassadenflächen als mögliche Kompensation für nicht erschlossene Potentiale im Dachbereich betrachtet und nicht in die Gesamtübersicht aufgenommen.



Ebenfalls in Vorarlberg: Große Fassadenintegrierte Photovoltaik- und Kollektoranlage am Energiepark West

Wasserkraft

Grundsätzliches:

Das theoretische Potential der Wasserkraft in einem bestimmten Gebiet ist das sogenannte Flächenpotential ⁴⁵. Damit gemeint ist die physikalische Lageenergie des gesamten auf der jeweiligen Landoberfläche abfließenden Wassers. Für die Energieerzeugung genutzt werden könnte es nur mit einem nahezu flächendeckenden System von Speichern, was aus naheliegenden Gründen nicht in Frage kommt.

Eine Annäherung an das technische Potential der Wasserkraft in einem bestimmten Gebiet ist das sogenannte Linienpotential, d.h. die physikalische Lageenergie des im jeweiligen Gewässersystem abfließenden Wassers. Die Autoren verschiedener Studien gehen davon aus, daß ungefähr 40 % des Linienpotentials auch technisch erschlossen und damit genutzt werden können.



„Es klappert die Mühle am rauschenden Bach“ schon seit vielen hundert Jahren.

⁴⁵ für Freunde des Formelwesens: das Flächenpotential errechnet sich als Produkt aus mittlerer Wasserabflussspende M_q und Höhendifferenz h bis zu einem festgelegten Bezugspunkt, z.B. der Einmündung in das nächstgrößere Gewässer (im Lkr. Konstanz z.B. der Bodensee mit 396 m ü. M.)

⁴⁶ **Singener Stadtgeschichte**, Band 2, Herbert Berner (Hrsg.), Konstanz 1990

⁴⁷ **Beiträge zur Geschichte der Stadt Aach**, Band 5, Heimat- und Verkehrsverein und der Stadt Aach (Hrsg.), 1989

⁴⁸ **Habermus und Suppenwürze**, Alfred G. Frei (Hrsg.), Konstanz 1987

⁴⁹ **Singener Stadtgeschichte**, Band 1, Herbert Berner (Hrsg.), Konstanz 1987

⁵⁰ ebenda

Die Wasserkraft im Hegau hat eine mehr als tausendjährige Mühlentradition. Der erste Nachweis der Hagmühle ⁴⁶ in Singen stammt aus dem Jahre 1403, wobei die Mühle an der Aach vermutlich ein wesentlich höheres Alter aufweist. Für das Jahr 1392 ist die Niedermühle ⁴⁷ im Ort Aach beurkundet und bereits 787 taucht der Ortsname Mühlhausen ⁴⁸ in einer Urkunde über die Besitzverhältnisse im Hegau auf, was darauf schließen läßt, daß bereits zu dieser Zeit eine Mühle an nämllichem Ort betrieben wurde. Die Aach lieferte später industriell genutzte Wasserkraft in Aach, Volkertshausen, Singen, Arlen und Rielasingen, zunächst mit unterschlächtigen Wasserrädern, später mit Turbinen. Bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts war die Wasserkraft sogar die wichtigste, damals noch mechanisch übertragene Antriebsenergie für die Industrie. Eine Übersicht ⁴⁹ aus dem Jahre 1869 listet für die Amtsbezirke Konstanz, Engen, Radolfzell und Stockach (was der im Rahmen dieser Studie untersuchten Region entsprechen dürfte) insgesamt 328 Wasserräder und 14 Turbinen auf. Im Jahre 1900 kamen ziemlich exakt zwei Drittel der installierten elektrischen Erzeugerleistung aus Wasserkraft ⁵⁰. Eine Übersicht der Gewässerdirektion Rottweil aus dem Jahre 2001 weist immerhin noch über 50 Standorte der aktuellen oder ehemaligen Wasserkraftnutzung aus.

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Die mit Abstand bedeutendsten Fließgewässer in der untersuchten Region sind die rund 35 km lange Radolfzeller Aach mit einer Quellschüttung von durchschnittlich $8 \text{ m}^3/\text{s}$ in Aach und einem mittleren Abfluss z.B. am Pegel Rielasingen mit rund $9 \text{ m}^3/\text{s}$ und die Stockacher Aach. Demgegenüber fallen kleinere Gewässer wie die Biber (aus der Gegend von Tengen nach Rammen in den Rhein fließend, mittlerer Abfluss an der Mündung ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$), der Krebsbach und die Mahlspürer Aach (beide in

die Stockacher Aach fließend) und andere kaum ins Gewicht. Da sich das Gesamtpotential der noch kleineren Bäche innerhalb der für diese Studie insgesamt angestrebten Fehlertoleranz verliert, werden sie nur überschlägig erfasst. Die Hauptpotentiale der Flußsysteme der Radolfzeller und der Stockacher Aach wurden mithilfe einer Studie über Wasserkraftpotentiale in Baden-Württemberg ⁵¹ und anhand einer Übersichtsliste der Gewässerdirektion Rottweil aus dem Jahre 2001 möglichst exakt ermittelt. Es ergibt sich folgendes Bild:

Linienpotentiale im Flußgebiet der Radolfzeller und Stockacher Aach ⁵²

Flußlauf	Spez. Linienpot. kW / km	Längenabschnitt in km	Linienpot. in kW	Linienpot. des Flußlaufs in kW	Jahresarbeits- vermögen in MWh
Stockacher Aach	25	18,5	462,5	905,0	7927,8
	75	5,9	442,5		
Krebsbach	25	15,3	382,5	382,5	3350,7
Mahlspürer Aach	25	7,7	192,5	192,5	1686,3
Saubach	75	19,4	1455,0	1455,0	12745,8
Radolfzeller Aach	200	16,2	3240,0	6680,0	58516,8
	400	8,6	3440,0		
Biber	25	11,2	280,0	280,0	2452,8
Gesamt				9895,0	86680,2

⁵¹ Ermittlung des Wasserkraftpotentials von Baden-Württemberg, Dipl.-Ing. Hubert Hildebrand u. Dipl.-Ing. K.Kern, Karlsruhe 1985
⁵² ebenda

Bei einem Ausbaugrad von 40% (ungefähre theoretische Obergrenze) ergibt sich somit ein technisch nutzbares Potential von etwa 35.000 MWh pro Jahr, das sind 35 GWh.

Die Summe aller in der bisherigen Aufstellung nicht enthaltenen kleineren Gewässer ⁵³ im untersuchten Gebiet, etwa 50 Bäche im Hegau, auf der Höri und auf dem Bodanrück dürfte in der Abschätzung ein zusätzliches Potential von max. 10 GWh haben, welches über eine Vielzahl moderner, sowohl unter- wie überschlächtiger Wasserräder durchaus genutzt werden könnte.

Dieses für kleine Gewässer benannte Potential wird aber nicht in die Gesamtübersicht aufgenommen, es ist als Denkanstoss gemeint.

Alle Wasserkraftwerke im Untersuchungsgebiet verfügen über eine installierte Leistung von deutlich weniger als 1000 kW und sind daher durchgängig der sogenannten Kleinwasserkraft zuzurechnen. Bei einem gegenwärtig installierten Jahresarbeitsvermögen ⁵⁴ von ca. 13 GWh sind verschiedene Ausbaumöglichkeiten der Kleinwasserkraft in der Region Hegau / Bodensee möglich. In Frage kommen:

- die Modernisierung von Kraftwerken, die aktuell in Betrieb sind
- die Reaktivierung von stillgelegten Kraftwerken
- der Neubau von Wasserkraftanlagen an bisher ungenutzten Standorten.

- Modernisierungsmaßnahmen, die zur Leistungssteigerung von in Betrieb befindlichen Anlagen in Frage kommen, sind: hydraulisch günstigere Ausformung der Oberwasserkanäle, Einbau von automatischen Rechenanlagen, Überholung oder Austausch der Turbinen, Einbau moderner Steuer- und Regelungstechnik. Auch waren manche historische Standorte für eine bestimmte benötigte Leistung, z.B. eine Säge ausgelegt, obwohl an dem Standort höhere Leistungen möglich wären.
- In den sechziger und siebziger Jahren wurde ein Vielzahl von Mühlen und kleinen Wasserkraftanlagen stillgelegt, manche sind völlig verschwunden, andere vollständig oder in Teilen erhalten.



Die Musikinsel in Singen, hier gehen jedes Jahr rund 700.000 kWh „den Bach runter“.

⁵³ eine Teilübersicht der in Frage kommenden kleinen Gewässer bietet z.B.

Dorfbäche im Hegau und auf der Höri, Singen 1984 (Hrsg.) Bauforum Singen, Mitarbeit: Horst Rainer Nies, Peter Ruf, Dr. Gert Wolf, Bernd Dittrich, Georg Breyer, u.a.

⁵⁴ **Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hoahrhein-Bodensee** - Juni 1990

angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart

Mitarbeit: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hoahrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz

Ein aktuelles Beispiel der möglichen Reaktivierung alter Standorte ist die Wasserkraftanlage auf der Musikinsel in Singen. Die dort in den siebziger Jahren stillgelegten bzw. ausgebauten Francis-Turbinen hatten eine Maximalleistung von 160 PS. Mit neuen Turbinen könnte die Anlage einen projektierten Jahresstromertrag von 710.000 kWh liefern⁵⁵. Dabei kann durch entsprechende wasserbauliche Maßnahmen wie Fischpässe gleichzeitig die momentan unbefriedigende ökologische Situation noch deutlich verbessert werden. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, daß historisch vorhandene Anlagen ein gesichertes und technisch nutzbares Potential darstellen, welches auch reaktiviert werden kann.

- Was den Neubau von Wasserkraftanlagen angeht, so ist davon auszugehen, daß insbesondere das Aufstauen mit neuen Wehren und die Nutzung durch Turbinen auf größere ökologisch motivierte Widerstände treffen dürfte. (Stichworte: Erwärmung der verlangsamten Gewässer, verringerte Durchgängigkeit für Wasserlebewesen.) Auch diese Effekte können selbstverständlich durch entsprechende bauliche Maßnahmen auf ein ökologisch vertretbares Maß beschränkt werden. (Beschattung der Südufer durch hochwachsende Bäume, Einrichten von Fischtreppe, Sicherstellung von Restwassermengen u.ä.) Dennoch wird der Neubau von Wasserkraftanlagen eher in Form der unter- und oberflächigen Wasserräder im Kleinleistungsbereich in Frage kommen, die in der modernen Variante aus Edelstahl eine Renaissance erleben.



Oberschlächtiges Wasserrad aus Edelstahl in Engen

Noch anzumerken ist, daß der Wasserkraft in der untersuchten Region innerhalb des Spektrums aller erneuerbaren Energien eine wertvolle Funktion zur Deckung der Grundlast zukommt. Einerseits aufgrund der Verteilung der Jahresniederschläge, andererseits wegen der sehr gleichmäßigen Quellschüttung der Radolfzeller Aach mit ca. 8 m³/s haben die wesentlichen Flußsysteme einen sehr ausgeglichenen Jahresverlauf.

⁵⁵ Reaktivierung der Wasserkraftanlage Musikinsel, Projektstudie T. Zahn u. K. Jorde, Stuttgart 2001

Windkraft

Grundsätzliches:

Der Globus rotiert und wird von der Sonne unterschiedlich stark aufgeheizt, es entstehen regionale und globale Ausgleichsbewegungen der Atmosphäre: Wind. Windenergie ist die in der strömenden Luft enthaltene kinetische Energie. Ein einziger Kubikkilometer Luft, der eine Stunde lang mit Windstärke 5, (frische Brise, das entspricht etwa 9 m/s) über die Oberfläche strömt, enthält immerhin eine theoretische Energie von 14.500 kWh, das sind 14,5 MWh ⁵⁶.

Die Nutzung der Windenergie hat eine mehrtausendjährige Geschichte in der Schifffahrt und zum Betrieb von Getreidemöhlen, Wasserpumpen und anderen Geräten. Es mag überraschen, aber auch im Hegau gab es in früherer Zeit bereits Windkraftanlagen. Sogar auf dem Hohentwiel sind zwei Windmühlen ⁵⁷ historisch belegt. Sie wurden während einer Belagerung 1635 errichtet, um von den besetzten Gebieten am Fuße von Berg und Burg unabhängig zu werden.



Windmühlen auf dem Hohentwiel? 1641 waren sie Realität ⁵⁸

Während der „Dekade der Windenergie“ wurde von 1990 bis 1999 die Stromerzeugung aus Wind in der Bundesrepublik mehr als verundertfacht, von rund 40 auf rund 5.400 GWh ⁵⁹. Im Jahre 2001 waren es bereits mehr als 10.000 GWh (das sind 10 Mrd. kWh) aus insgesamt rund 10.500 Windkraftanlagen ⁶⁰. Diese Entwicklung ging allerdings am Südwesten vorbei, in ganz Baden-Württemberg waren am 30.9.2001 nur 112 Windkraftanlagen ⁶¹ am Netz. Aktuell gibt es im gesamten Lkr. Konstanz lediglich drei moderne Windräder mit je 600 kW Leistung, diese stehen auf der Stettener Höhe nordwestlich von Engen.



Die bisher einzigen drei Windkraftanlagen im Lkr. Konstanz

Da die Leistungsabgabe von Windkraftanlagen mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit wächst, sind Topographie, Höhe über Null und Landnutzung entscheidende Faktoren für die Suche nach geeigneten Regionen und Standorten. Im Überblick: Niedrigster Punkt ist der Bodensee mit 396 m ü. M. und höchster der Neuhewen mit 867 m ü. M. Im Zentrum des unter-

⁵⁶ Für Freunde des Formelwesens: Die kinetische Energie eines bewegten Körpers ist bestimmt durch $E_{kin} = 1/2 m v^2$, wobei die Masse eines Kubikkilometers Luft unter Standardbedingungen 1,29 Mio. t beträgt. ($1 m^3 = 1,29 kg$)

⁵⁷ **Singener Stadtgeschichte**, Band 2, Herbert Berner (Hrsg.), Konstanz 1990

⁵⁸ **Hohentwiel. Bilder aus der Geschichte des Berges**, Herbert Berner (Hrsg.), Konstanz 1957

⁵⁹ **Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000**, Frithjof Staiß, Hrsg. von der Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg

⁶⁰ laut Betreiberdatenbank der deutschen Windkraftanlagen

⁶¹ Bundesverband Windenergie e.V., gemäß Anfrage vom 07.12.2001

suchten Gebiets liegt eine von Singen (432) nach Engen (528) sanft ansteigende Wanne, im Westen eingerahmt von den Hegauvulkanen Hohentwiel (688), Hohenkrähen (643), Mägdeberg (664), Philippsberg (622) und schließlich Hohenhewen (846), im Süden begrenzt von der Halbinsel Höri mit dem überwiegend bewaldeten Schienerberg (bis 700m). Geringfügig niedriger ist der ebenfalls stark bewaldete Bodanrück, der sich im Osten zwischen Untersee und Überlinger See erstreckt. Nördlich des Überlinger Sees (396m) steigt das Terrain am Sipplinger Berg steil bis auf über 700m an und setzt sich gegen Norden flachhügelig mit Höhen um die 600 m fort.

Auch der westliche Teil des untersuchten Lkr. Konstanz, im Süden begrenzt vom Schweizer Randen (bis 743m), im Norden vom Neuhewen (867) ist hügeliges Terrain mit Höhenlagen um die 600 m. Das Landschaftsrelief ist damit sehr komplex.

Der Landkreis Konstanz zählt insgesamt wegen seiner Lage zwischen Alpen, Schwarzwald und Schwäbischer Alb zu den windschwächeren Binnenlandregionen Deutschlands. Durch die Entwicklung der letzten Jahre, daß einerseits höhere und größere Windkraftanlagen entwickelt wurden, daß andererseits die Herstellungs- und Installationskosten durch größere Stückzahlen gesunken sind, gibt es aber auch hier aussichtsreiche Flächen und Standorte zur Stromerzeugung aus Windkraft.

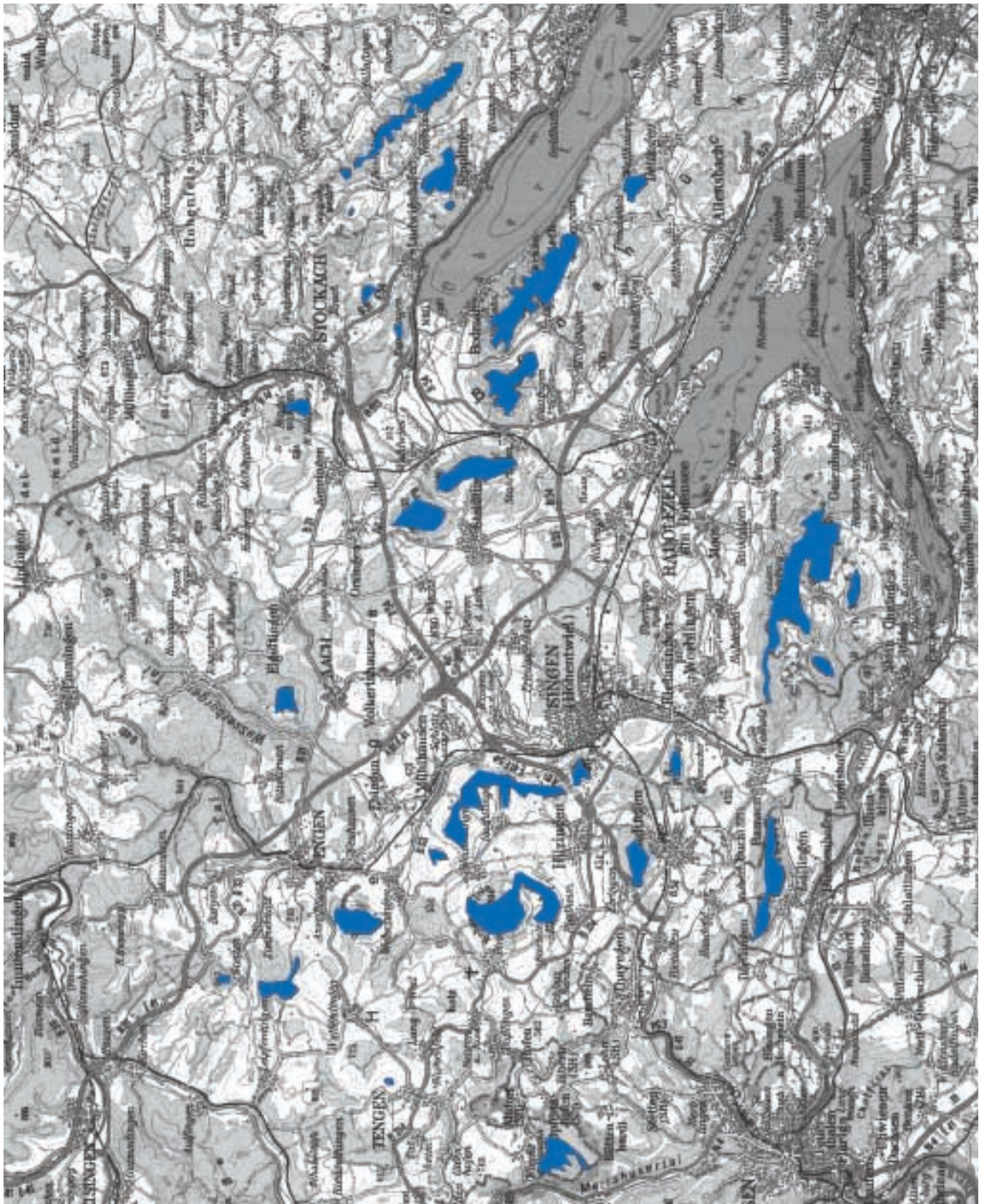
Diese wurden wie folgt ermittelt. Mit Hilfe von digitalen Geländemodellen und Windfelddaten des Deutschen Wetterdienstes wurde eine Computersimulation vom Büro für Windanalyse anemos-jacob vorgenommen. Neben der vermeintlichen Objektivität des Computers kam auch die subjektive Berufserfahrung zum Einsatz, es wurden alle potentiellen Standorte auf einer Besichtigungstour in Augenschein genommen. Die Rauigkeit der Oberfläche oder die detaillierte Struktur vorgelagerter Geländeformationen lassen sich so noch immer am besten abschätzen.

Die Windverhältnisse wurden auf der Basis einer langjährigen Zeitreihe der Wetterstation Neuhausen ob Eck berechnet. Hierzu wurden die Winddaten mit einem speziellen Berechnungsprogramm für atmosphärische Strömungen auf knapp 50.000 Einzelpunkte unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen, d.h. des Geländereiefs, des Bewuchses und der Bebauung übertragen. Das Berechnungsverfahren wurde außerdem mit den Erträgen von bereits in der Region bestehenden Windkraftanlagen abgeglichen. Die Verteilung der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit in 70 und 100 Meter Höhe über dem Boden wurde für die Region flächendeckend ermittelt.

Auch beim Wind unterliegt eine realistische Einschätzung der grundsätzlich nutzbaren Potentiale gewissen Variablen und Vorannahmen. Unter den derzeit geltenden gesetzlichen Vorgaben des EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) und den technisch bedingten Gestehungskosten der Windstromerzeugung ist eine mittlere Windgeschwindigkeit von mindestens 5 m/s in Nabenhöhe zum wirtschaftlichen Betrieb notwendig. Energetisch nutzbar wären aber selbstverständlich auch Windgeschwindigkeiten von 4 oder weniger m/s.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, daß sich die gesetzlichen Rahmenbedingungen nicht weiter zu Gunsten der Windkraftnutzung verändern werden, möglicherweise aber die technische Weiterentwicklung preisgünstiger Windkraftanlagen speziell für das Binnenland auch die Nutzung schwächerer Standorte wirtschaftlich interessant machen wird. Zur Abschätzung der Potentiale wurde von 5,5 m/s Mindestwindgeschwindigkeit in Nabenhöhe ausgegangen.

Fläche Nr.	Bezeichnung	Fläche [km ²]	Energie WKA 100 m NH 77 m Durchm. [GWh/a]	Technische Potentiale in der untersuchten Region:
1	Bohl / Rütte	1,12	28	<p>Bei Zugrundelegung von 5,5 m/s mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in 100 m Höhe über Grund summieren sich die über den gesamten Landkreis verteilten geeigneten Flächen auf 28 km². Zusätzlich liegen einige sehr aussichtsreiche Flächen knapp außerhalb des Kreisgebietes, nämlich der Hohe Randen westlich von Tengen, sowie die Höhenzüge am nördlichen Bodenseeufer zwischen Stockach und Überlingen. Ohne Berücksichtigung von Ausschlusskriterien (Strassen, Schutzgebiete, u.a.) könnten auf der Fläche von 2800 ha bei maximaler Ausnutzung theoretisch rund 200 Windkraftanlagen mit 77m Rotordurchmesser und 100 m Nabenhöhe errichtet werden. Dies entspricht im langjährigen Mittel einem jährlichen Stromerzeugungspotential von ungefähr 586.000 MWh = 586 GWh. In der Praxis wird man die Flächen nicht maximal ausnutzen, sondern zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anlagen optimal. (Zur Erläuterung dieser Unterscheidung: An einem kleinen Standort, der prinzipiell 3 Windkraftanlagen mit einer Jahresstromerzeugung von je 2500 MWh erlauben würde, wird dann z.B. nur eine mit einer Jahresstromerzeugung von 3.000 – 4.000 MWh errichtet.) Außerdem müssen selbstverständlich von den prinzipiell verfügbaren Flächen die Abstandsflächen zu Strassen und Siedlungen, sowie andere Schutzgebiete abgezogen werden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte verbleiben realistische Potentialflächen mit rund 800 ha, entsprechend 40 optimal platzierte Anlagen der beschriebenen Größe und ein Jahresstromertrag von 140.000 MWh = 140 GWh. Dieses technische Potential findet Aufnahme in die Übersicht.</p>
2	Wannenberg	0,06	3	
3	Brand	0,78	22	
4	Neuhewen	0,08	5	
5	Hohenhewen	1,12	24	
6	Philippsberg	0,18	5	
7	Mühlhausen	2,70	42	
8	Hohenstoffeln	3,30	64	
9	Hohentwiel	0,27	8	
10	Heilsberg	0,72	14	
11	Rosenegg	0,23	8	
12	Rauenberg	1,77	43	
13	Schiener Berg	5,11	84	
14	Kressenberg	0,31	8	
15	Bannholz	0,39	15	
16	Dornsberg	0,48	10	
17	Kirnberg	1,24	21	
18	Roßberg	1,78	42	
19	Bodanrück 1	1,66	40	
20	Bodanrück 2	3,63	65	
21	Rohnhausen	0,46	12	
22	Nellenburger Berg	0,35	10	
23	Bogental	0,05	5	
24	Kübelboden	0,16	8	
Summe		28	586	



In diesen Regionen sind detaillierte Standortuntersuchungen und systematische Windmessungen zur Bestimmung konkreter Standorte aussichtsreich, Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe im Jahresmittel über 5,5 m/s

Biomasse

Biomasse, im neueren Sprachgebrauch „nachwachsende Rohstoffe“ sind organische Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die als Rohstoffe für eine stoffliche Weiterverwendung und –bearbeitung sowie als Energieträger genutzt werden können. Vor der Entdeckung von Öl und Kohle sowie der Erfindung der synthetischen Chemie waren alle Grundstoffe des menschlichen Lebens biogenen Ursprungs.

Die Angebotspalette der Natur ist außerordentlich reichhaltig, hinter aller Biomasse als Energieträger steckt als Ursprungenergie die Sonne. Im Gegensatz zu anderen erneuerbaren Energien wie Wind, Wasser oder direkte Sonnenenergie ist Biomasse bereits eine gespeicherte Energieform, die bedarfsgerecht eingesetzt werden kann.

Holz

Grundsätzliches:

Das Heizen mit Holz ist die älteste Art der Wärmeerzeugung. In ihrer primitiven Form ist sie auch heute noch in vielen Ländern von zentraler und lebensnotwendiger Bedeutung. Mit der technischen Entwicklung moderner Holzheizsysteme findet diese Form CO₂-neutraler und erneuerbarer Energieerzeugung wieder eine zunehmende Bedeutung. Biogene Festbrennstoffe – also vor allem Holz – können in automatischen Feuerungsanlagen zur Wärmebereitstellung eingesetzt werden und alle Leistungsbereiche abdecken. Holzheizwerke auf der Basis von Holzhackschnitzeln versorgen öffentliche und private Gebäude mit großem Heizwärmebedarf, bzw. ganze Gebäudekomplexe und Nahwärmenetze mit Wärme. Im kleineren Leistungsbereich bis etwa 100 kW (Ein- und Mehrfamilienhäuser) sind Pelletsöfen mit hohem Komfort und nahezu vollautomatisch am Markt verfügbar. In Mitteleuropa ist Österreich führend, dort sind

moderne Holzheizungen bereits massenhaft verbreitet, so waren Ende 2000 in Österreich über 12.000 Pelletsheizungen⁶² installiert und es wurden 2001 ca. 90.000 t Holzpellets⁶³ abgesetzt. Im Sektor des modernen Heizens mit Holz kann allgemein der Blick über den Bodensee ein Ansporn sein.

Holzpellets haben einen Durchmesser von 5 – 10 mm und eine Länge von 10 – 30 mm. Sie werden aus trockenen industriellen Reststoffen wie Säge – und Hobelspänen durch starkes Verdichten hergestellt, ohne Bindemittel und meistens rindenfrei. Infolge der starken Verdichtung erreichen sie ein höheres spezifisches Gewicht als gewachsenes Holz (ungefähr 1,2 – 1,4g/cm³), was den wirtschaftlichen Transport, eine platzsparende Lagerung und einen hohen Heizwert von rund 5kWh / kg ermöglicht. (2 kg Pellets entsprechen damit dem Heizwert von 1l Heizöl). Holzpellets sind riesel- und pumpfähig, diese förder-technischen Vorteile machen den Komfort einer Pelletsheizung vergleichbar mit dem einer fossil betriebenen Heizung. Die Brennstoffdosierung, das Beschicken und Zünden des Brenners erfolgt vollautomatisch, der Lagerraum wird von einem Tanklaster mit Schläuchen gefüllt.



Pellets: ein moderner Energieträger, CO₂-neutral, krisensicher, weil aus der Region, komfortabel

⁶² **Pellets, die Zukunft der Holzenergie?**, Wilfried Auerbach, im Tagungsband zum Symposium Energieholz, veranstaltet vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, Freising 2001

⁶³ Quelle: Holz-Zentralblatt, Ausgabe vom 7. Dezember 2001

Holzhackschnitzel sind maschinell zerkleinertes Holz, in der Regel Rest- und Schwachholz aus dem Wald, das direkt an der Waldstrasse gehäckselt wird. Die Hackschnitzel sind ungefähr fingergroß, 3 - 6 cm. Im Unterschied zu den Pellets haben sie einen höheren Wassergehalt und einen kleineren Heizwert, entsprechend einen größeren Lagerraumbedarf und einen geringeren Preis pro Mengeneinheit.



Holzhackschnitzel: kostengünstige Bioenergie vor allem im höheren Leistungsbereich

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Zur Erfassung der Mengen wurde im Kapitel Biomasse grundsätzlich auf das Kopieren mehr oder weniger anonymer Statistiken verzichtet. Uns erschien es richtiger, mit den zuständigen Ämtern in der Region Verbindung aufzunehmen und sie um ihre Unterstützung zu bitten. Zahlen über diejenigen Holzmen-gen, die nicht unmittelbar aus den Wäldern stammen, wurden nach eingehender Prüfung aus einer Diplomarbeit entnommen, die im Jahr 2000 an der Fachhochschule Nürtingen verfasst worden ist. Alle angesprochenen Personen sind ohne Ausnahme unserer Bitte um Unterstützung freundlich, hilfsbereit und kompetent entgegengekommen.

(siehe auch Kapitel: Datenquellen und Danksagung)

Holz, das energetisch genutzt werden kann und zu einem gewissen Teil auch bereits genutzt wird, wurde in folgenden Fraktionen erfasst:

■ **Landschaftspflegeholz**

Holz aus öffentlichem und privatem Baum-, Strauch- und Heckenschnitt. Fällt an bei der Strassenrand- und Gewässer-randpflege, auf Friedhöfen, in öffentlichen Grünanlagen, in der freien Landschaft – z.B. Hecken, Feldgehölze und Streu-obst – in der Landwirtschaft z.B. Intensivobst- und Weinbau.

■ **Sägenebenprodukte u. Industrierestholz**

Reste aus der Sägeindustrie, Schwarten, Spreißel, Hackschnitzel, Kappscheiben, Säge- und Hobelspäne, Sägespäne u.ä., außerdem Reste und Nebenprodukte aus holz- verarbeitenden Betrieben wie Tischlereien, Zimmereien, Kistenhersteller, Möbel- und Fertighausindustrie.

■ **Naturbelassenes Altholz**

Hölzer bzw. Holzwerkstoffe, die bereits in Gebrauch waren: Holzverpackungen, Paletten, Obstkisten, Möbel, Küchen, Bauholz aus naturbelassenem Vollholz.

Forstamt Engen	Laubholz	2.650 Fm
	Nadelholz	3.950 Fm
Forstverwaltung Graf Douglas und Prinz zu Fürstenberg		
	Laubholz	3.600 Fm
	Nadelholz	2.400 Fm

■ **Derbholz aus dem Wald**

Schwachholz unterhalb eines bestimmten Stammdurchmessers vor allem aus der Durchforstung, sowie Waldrestholz aus der stofflichen Verwertung, das sind minderwertige Stämme, Kronen, Wurzelstöcke usw.

Derbholz gesamt	Laubholz	18.450 Fm
	Nadelholz	14.250 Fm

Anmerkung: Diese bei den Partnern in der Region erhobenen Daten liegen noch deutlich unter den Aussagen von Potentialstudien auf nationaler Ebene, und sind damit eine konservative Abschätzung. Demnach beträgt das bundesweite Potential allein an Energieholz aus dem Wald je nach Aufarbeitungsgrenze bei bis zu 17 Mio. t_{atro}, davon 9,6 Mio t_{atro} Waldrestholz und 7 Mio t_{atro} Schwachholz⁶⁵. Da der Landkreis Konstanz mit 30% Waldfläche ziemlich exakt im Bundesmittel liegt, ist die näherungsweise Umrechnung über die Fläche zulässig und ergäbe rund 38.000 t_{atro} oder rund 65.000m³, also etwa das doppelte der oben angegebenen Derbholzmengen.

Die Biomassemengen Holz, die im Landkreis Konstanz unter Beachtung des forstwirtschaftlichen Nachhaltigkeits-Grundsatzes technisch für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen, betragen pro Jahr⁶⁴:

Landschaftspflegeholz	12.423 t _{atro}
Sägenebenprodukte und	
Industrierestholz	3.120 t _{atro}
Naturbelassenes Altholz	4.160 t _{atro}

Bisher ungenutztes Derbholz aus dem Wald:

Forstamt Radolfzell	Laubholz	6.500 Fm
	Nadelholz	3.500 Fm
Forstamt Stockach	Laubholz	5.700 Fm
	Nadelholz	4.400 Fm

Die Energieinhalte der erfassten Holzarten können wie folgt angenommen werden:

Landschaftspflegeholz	5 MWh/t _{atro}
Sägenebenprodukte und	
Industrierestholz	5,55 MWh/t _{atro}
Naturbelassenes Altholz	5,55 MWh/t _{atro}
Derbholz aus dem Wald	
Laubholz	2,87 MWh/Fm
Nadelholz	2,21 MWh/Fm

Sollten die Energieholzpreise steigen, so würden im Forstamtsbereich Stockach weitere 3.100 Fm Laubholz zur Verfügung stehen, die z.Zt. in die Zellstoffproduktion gehen.

Wegen der gegebenen Unsicherheit haben wir diese Menge nicht in die Zusammenstellung aufgenommen.

⁶⁴ Die Potentiale für Landschaftspflegeholz, Sägenebenprodukte und naturbelassenes Altholz stammen aus: **Energieholz in Baden-Württemberg. Potentiale und derzeitige Verwertung** - Sommersemester 2000 angefertigt von Nicole Janet Meinhardt bei Prof. Dr. sc. Agr. Roman Lenz, Fachhochschule Nürtingen

⁶⁵ **Energieholzpotentiale in Deutschland**, veröffentlicht im Tagungsband zum Internationalen Fachkongress für Holzenergie 2001, Dr. Matthias Dieter, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
t_{atro} = eine Tonne absolut trockenen Holzes, eine Einheit zum energetischen Vergleich verschiedener Biomasseangebote

Die Primärenergieinhalte der ermittelten Holzmengen belaufen sich damit auf:

Landschaftspflegeholz		62.115.000 kWh
Sägenebenprodukte und Industrierestholz		17.333.300 kWh
Naturbelassenes Altholz		23.111.100 kWh
Derbholz aus dem Wald	Laubholz	52.951.500 kWh
	Nadelholz	31.492.500 kWh

Gesamtmenge an Primärenergie 187.003.400 kWh

Wirkungsgrad für Hacken und Transport ca. 99%.

Gesamtmenge an Endenergie 185.130.000 kWh

Zum Vergleich: die energetisch gleichwertige Heizöl-Menge hierfür beträgt: $185.130.000 \times 0,1 = \text{ca. } 18 \text{ Mio. Liter Heizöl}$

Dieser Vergleich ist zutreffend, da es sich sowohl bei der Holz - wie auch bei der Ölmenge um Endenergie handelt. Sollten die Wirkungsgrade der jeweils eingesetzten Energieumwandlungsanlagen unterschiedlich sein, so würde sich das erst bei der Ermittlung der Nutzenergie auswirken.

Nachdem die Mengen an Biomasse Holz vorlagen, haben wir uns mit kompetenten Fachleuten in der Schweiz und in Baden-Württemberg eingehend besprochen, um deren spezielle Erfahrungen gegebenenfalls in unsere Arbeit einfließen zu lassen. Gemeinsam mit ihnen haben wir die sich jeweils anbietenden Energie-Umwandlungstechniken und ihre Wirkungsgrade festgelegt. Auch bei dieser Arbeit war die Bereitschaft unserer Partner, mit uns zu kooperieren und uns zu unterstützen, uneingeschränkt. Die Ratschläge dieser Fachleute haben sich auf unsere Arbeit positiv ausgewirkt.

Um die, den BürgerInnen letztlich zur Verfügung stehende Nutzenergie ermitteln zu können, ist es erforderlich, geeignete Energie-Umwandlungssysteme auszuwählen, um mit den dazugehörigen Wirkungsgraden weiterrechnen zu können.

Für die energetische Verwendung von Landschaftspflegeholz und Derbholz aus dem Wald halten wir die Hackschnitzelfeuerung für die passende Technik. Der Anlage-Wirkungsgrad, einschliesslich der Nahwärme-Verbundsysteme wird angenommen mit 75%.

Die Holzarten Sägenebenprodukte, Industrierestholz und Naturbelassenes Altholz lassen sich unter Umständen pelletieren. Da wir heute aber weder die genaue Qualität noch den Feuchtigkeitsgehalt dieser Rohstoffe kennen, haben wir für sie ebenfalls eine Verwertung in Hackschnitzelfeuerungen vorgesehen.

Gesamtmenge an Endenergie 185.130.000 kWh / Jahr

Gesamtmenge Nutzenergie: 138.875.500 kWh/Jahr
($185.130.000 \times 0,75$)



**In die Gesamtübersicht werden aufgenommen
185 GWh Endenergie aus Holz.**

Biogas

Grundsätzliches:

Die Bildung von Biogas aus organischem Material ist ein natürlicher Prozess, der z.B. in den Mägen von Wiederkäuern stattfindet. Unter Abschluss von Sauerstoff (anaerob) wird von Mikroorganismen die Biomasse zersetzt. Biogas ist ein Gemisch, das im wesentlichen aus dem brennbaren Methan und aus Kohlendioxid besteht. Außerdem enthält es Wasser, Schwefelwasserstoff u.a. Substanzen in sehr geringen Mengen. Der Brennwert ist abhängig vom Methangehalt, 1m³ Biogas enthält etwa gleichviel Energie wie 0,7 m³ Erdgas. In Biogasanlagen, wird der natürliche Prozess unter möglichst optimalen Bedingungen nachgebildet, die Technologie ist grundsätzlich seit vielen Jahrzehnten bekannt und im Einsatz. Eine Biogasanlage besteht im wesentlichen aus folgenden Teilfunktionen:

- Faulsubstrat sammeln und fördern, zerkleinern und mischen
- Faulen im gasdichten Behälter
- Rühren des Substrats im Faulbehälter
- Erwärmen des Faulbehälters und Verhindern zu großer Wärmeverluste durch Dämmung
- Gas fördern, speichern und aufbereiten

Biogasanlagen in landwirtschaftlichen Betrieben zur Vergärung von Mist und Gülle sind seit langem Stand der Technik. Ein durchaus erwünschter Nebeneffekt der Vergärung von Gülle in Biogasanlagen ist eine „Veredelung“ der ausgefaulten Gülle, die dem Landwirt eine „Düngewertverbesserung“ und der Umwelt eine geringere Belastung durch Geruch und Nitrat bringt.

Neben tierischen Abfällen können zahlreiche organische Rest- und Abfallstoffe mitvergoren werden, siehe dazu den Abschnitt „Andere Biomasse“.

In ganz Deutschland sind über 1.000 Biogasanlagen in Betrieb, davon rund die Hälfte in Bayern, in Baden-Württemberg bisher gut 100 ⁶⁶.

Das gewonnene Biogas wird in Blockheizkraftwerken (BHKWs) verstromt. Im Bemühen um rationelle Energieerzeugung und –anwendung wurde die BHKW-Technik entwickelt und fortentwickelt. Der große Vorteil sämtlicher Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (unabhängig ob mit fossilen oder erneuerbaren Energien betrieben) liegt darin, daß für die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme deutlich weniger Energie eingesetzt werden muß als für die getrennte Erzeugung. Ein Gesamtnutzungsgrad der eingesetzten Energien von über 85% ist technisch möglich und heute üblich.

Dabei ist die Kraft-Wärme-Kopplung keine furchtbar komplizierte Hochtechnologie, sondern im Gegenteil weitverbreitet und simpel. Grundsätzlich ist z.B. jeder Verbrennungsmotor im PKW ein Aggregat mit Kraft-Wärme-Kopplung, ein Teil der im Treibstoff enthaltenen Energie wird in Bewegung, ein anderer in Wärme umgesetzt. (Wenngleich diese überwiegend nutzlos als Abwärme über das Kühlsystem abgegeben wird.) So sind auch Biomasse-BHKW's im Grunde und vereinfacht gesagt nichts anderes als stationäre Verbrennungsmotoren, in denen entweder Holz- oder Biogas oder aber verschiedene Pflanzenöle verbrannt werden. Der Motor treibt einen Generator an und erzeugt so Strom, die Motorabwärme wird einer weiteren Nutzung zugeführt.

⁶⁶ Angaben des Ministeriums für den Ländlichen Raum, Stuttgart, bzw. des Landwirtschaftsministeriums, München, via Internet.



Eine Kuh macht Muh, viele Kühe machen Mühe, oder viel Biogas

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Wenn tierische Abfälle (Mist, Gülle) in Biogasanlagen vergoren werden sollen, muß eine Mindestmenge zum wirtschaftlichen Betrieb vorhanden sein. Als Grenzwert wurde eine Betriebsgröße von 70 Grossvieheinheiten (GVE) angenommen. Es gibt im Landkreis Konstanz 140 Betriebe mit mehr als 70 GVE, in diesen Betrieben stehen insgesamt ca. 15.100 GVE.

An Grünschnitt steht der Heuanteil von 1.400 ha zur Verfügung, hieraus errechnen sich $1.400 \times 0,40 = 5.600$ t Trockenmasse.

Für die Nutzung des anfallenden Biogases in "Zündstrahl-Blockheizkraftwerken" kann ein elektr. Wirkungsgrad von 30 % und ein Wirkungsgrad für die nutzbare Wärme von 36% angenommen werden. Der Rest ist Abwärme oder wird zur Aufrechterhaltung des Gärprozess gebraucht.

Herr Pfau vom Landwirtschaftsamt in Ravensburg hat freundlicherweise mit Hilfe eines Computer-Programms die Energiemenge ermittelt, die sich nach der Fermentierung der oben angegebenen Gülle- und Grünschnittmengen, aus Biogas gewinnen lassen. Es sind:

Elektrischer Strom: 26.288.000 KWh/Jahr

Nutzbare Wärme: 31.183.000 KWh/Jahr

Diese Potentiale (26 GWh elektr. und 31 GWh thermisch) finden Aufnahme in die Gesamtübersicht.

Rapsöl und andere Pflanzenöle

Grundsätzliches:

Zur groß angelegten Ölgewinnung sind in unseren Breiten vor allem Raps, aber auch andere ölhaltige Pflanzen wie Sonnenblumen, Öllein u.a. geeignet. Als biogener Treibstoff kommt das Pflanzenöl entweder kaltgepresst und unbehandelt (Naturdiesel) oder chemisch verändert, sog. umgeestert (Biodiesel) zum Einsatz. Beim Naturdiesel wird der Motor dem Treibstoff angepasst, beim Biodiesel der Treibstoff dem Motor. Neben dem Öl können selbstverständlich auch die anderen Pflanzenteile einer energetischen Nutzung zugeführt werden, z.B. der Rapskuchen als eiweißreiches Futter, und das Rapsstroh als Brennstoff oder zur Kofermentation in Biogasanlagen. Der Ölertrag beim Raps liegt derzeit bei rund 1,2 t pro Hektar (3t/ha, extrahierbarer Ölanteil 35 – 40%), es wird aber aufgrund der neuen Zielstellung an Züchtungen mit optimierten Ölerträgen gearbeitet. Aufgrund des immensen „Treibstoffdurstes“ werden pflanzliche Treibstoffe aus heimischem Anbau zwar einen nennenswerten, aber nur geringen Anteil leisten können, Modellrechnungen gehen von einer Obergrenze von max. 30% des Dieserverbrauchs aus, die auf diesem Wege gedeckt werden können.

Neben dem Einsatz in Fahrzeugen werden Pflanzenöle erfolgreich zum Betrieb von Blockheizkraftwerken eingesetzt, so wird z.B. das gesamte Regierungsviertel in Berlin (Reichstag, Bundeskanzleramt, u.a.) mit Strom und Wärme aus PflanzenölbHKWs versorgt.⁶⁷



Der Landwirt als zukünftiger Rapsöl-Scheich?!

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

An Ölsaaten wurden geerntet⁶⁸

Körner - Raps: ca. 3.480 t

NawaRo - Raps: ca. 840 t

Sonnenblumen: ca. 112 t

Pflanzenöl aus Ölsaaten:

Sonnenblumenkerne liefern beim Pressen einen etwas höheren Ölertrag als Rapskörner. Im Gegensatz dazu ist der Heizwert von Sonnenblumenöl etwas geringer als der von Rapsöl.

Aus diesen Gründen behandeln wir die Ölsaaten gleich, zumal der Anteil an Sonnenblumen nur gering (ca. 2,5%) ist.

Gesamtmenge der Ölsaaten:

$3.480 \text{ t} + 840 \text{ t} + 112 \text{ t} = 4.432 \text{ t}$

⁶⁷ **Energieversorgung für das Parlaments- und Regierungsviertel im Spreebogen Berlin: Leistungsfähigkeit-Wirtschaftlichkeit- ökologischer Anspruch,** Bernhard Lütke, Bundesbaugesellschaft Berlin, im Konferenzband zur 2. Internationalen EUROSOLAR Konferenz, Berlin 2000

⁶⁸ Quelle: Amt für Landwirtschaft, Stockach

Bei einem Ölertrag von ca. 35% ergibt das eine Gesamt-Ölmenge von $4.432 \text{ t} \times 0,35 = \text{ca. } 1.551 \text{ t}$

Das aus Ölsaaten gewonnene Öl kann in entsprechend modifizierten Dieselmotoren für den Antrieb von Fahrzeugen oder Blockheizkraftwerken genutzt werden. Deren Wirkungsgrade sind dann ungefähr dieselben wie bei der Verbrennung von Dieselmotoren.

Energie-Gehalt von Rapsöl: ca. 36.500 MJ/t

Energiegehalt von Dieselöl: ca. 42.000 MJ/t

Somit können durch 1.551 t Rapsöl ca. 1.348 t Dieselöl ersetzt werden.⁶⁹

Der Energiegehalt der derzeit im Lkr. Konstanz geernteten Ölsaaten beträgt rund 15,5 GWh, dieses Potential fand Aufnahme in die Gesamtübersicht.



⁶⁹ Dichte des fossilen Diesels = 0,84 kg / l. Angaben aus: **Basisdaten Bioenergie Deutschland**

Andere Biomasse

Die bekannten landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf der Basis von Gülle und Mist können mit der Vergärung von Speiseresten, Biomüll und Reststoffen aus der Natur- und Landschaftspflege weitere Potentiale erschliessen. Ein Beispiel aus der Region für die „erweiterte Sicht“ ist eine Biogasanlage, welche gemeinsam von den Stadtwerken Konstanz, der Fa. Bio-System, dem Fruchthof Konstanz und der Reichenauer Gemüse-Vertriebs GmbH am Konstanzer Bettenberg gebaut und betrieben wird. Zur Vergärung kommen dort Riedschnitt, Trester aus der Saftherstellung, Gemüsereste, Grünschnitt und Laub.

Biomüll

Das Biomüll-Aufkommen im Lkr. Konstanz bewegt sich seit Jahren in einer Größenordnung von gut 30.000 t / Jahr ⁷⁰. Auch wenn diese organischen Stoffe wegen der geltenden Rechtslage derzeit nicht für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen, so ist mittelfristig doch eine andere Sichtweise wünschenswert. Statt als Abfall sollte Biomüll als energetischer Rohstoff betrachtet und verwendet werden. Das bei einer vollständigen Vergärung der beschriebenen Menge an Biomüll gewonnene Biogas enthält eine Gesamtenergie von rund 18 Mio. kWh, davon wären nach Abzug von Verlusten und notwendiger Prozessenergie rund 5,5 Mio. kWh elektr. Energie und rund 7 Mio. kWh thermische Energie nutzbar ⁷¹.

Diese Potentiale finden aufgrund der derzeit geltenden Rechtslage keine Aufnahme in die Gesamtübersicht, sie sind als Anregung zu verstehen.

Grünschnitt von privaten und kommunalen Flächen

Der private Grünschnitt im Lkr. Konstanz kann abgeschätzt werden anhand derjenigen Mengen die vor der Umstellung durch Satzungsänderung anfielen: ca. 12.000 t / Jahr ⁷². Die in den Kommunen anfallende Menge an Grünschnitt wird selten sortenrein, sondern meist zusammen mit Laub, Strauch- und Heckenschnitt erfasst, sie kann aus den Angaben der Gemeinden nur geschätzt werden und beläuft sich mindestens auf weitere 3.000 t. Bei einer Vergärung in Biogasanlagen enthielte dieses Material eine Gesamtenergie von rund 9 Mio. kWh, davon sind nach Abzug von Verlusten und notwendiger Prozessenergie rund 2,6 Mio. kWh elektr. Energie und rund 3,5 Mio. kWh thermische Energie nutzbar ⁷³.

Diese Potentiale finden Aufnahme in der Gesamtübersicht, da sie ohne Probleme zusammen mit den Potentialen in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen genutzt werden können.

Speisereste aus der Gastronomie

Speisereste und Abfallfett aus Gastronomie und Hotellerie enthalten ebenfalls Energie, die in Biogasanlagen genutzt werden kann. Ebenso Pressrückstände (Trester) aus der Saft- und Weinherstellung. Das Mengenpotential dieser Stoffe im Lkr. Konstanz beläuft sich auf rund 10.000 t Obsttrester (im Jahresmittel) sowie rund 200 t Weintrester und weitere 1000 – 2000 t Speisereste. Bei einer Vergärung in Biogasanlagen enthielte dieses Material eine Gesamtenergie von rund 6 Mio. kWh, davon sind nach Abzug von Verlusten und notwendiger Prozessenergie rund 2 Mio. kWh elektr. Energie und rund 2,5 Mio. kWh ⁷⁴ thermische Energie nutzbar. **Diese Potentiale finden Aufnahme in der Gesamtübersicht, da sie ohne Probleme zusammen mit den Potentialen in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen genutzt werden können.**

⁷⁰ konstant 32.000 – 34.000 t / Jahr, Quelle: Landratsamt Konstanz

⁷¹ abschätzende Berechnung durch Frau Sabine Seeliger, Dipl.-Biologin, Konstanz

⁷² Quelle: Landratsamt Konstanz

⁷³ abschätzende Berechnung durch Frau Sabine Seeliger, Dipl.-Biologin, Konstanz

⁷⁴ abschätzende Berechnung durch Frau Sabine Seeliger, Dipl.-Biologin, Konstanz

Nutzung von Stilllegungsflächen durch Energiepflanzen

Im Lkr. Konstanz gibt es aktuell Stilllegungsflächen in einer Größenordnung von 2.000 Hektar.

Die Debatte über den gezielten Anbau von sogenannten Energiepflanzen ⁷⁵ auf Stilllegungsflächen hat in den vergangenen Jahren an Schub gewonnen, weil sich damit zwei Problemfelder angehen lassen. Die Überschußproduktion klassischer landwirtschaftlicher Produkte in Deutschland und der EU kann gesenkt werden, gleichzeitig werden neue Geschäftsfelder („Der Landwirt als Energiewirt“) eröffnet. Eine zukünftige Nutzung der benannten Flächen könnte z.B. durch folgende Energiepflanzen geschehen:

- Schnellwachsende Gehölze wie Pappeln und Weiden, die in Kurzumtriebsplantagen alle paar Jahre geerntet werden.
- Chinaschilf oder andere C4-Pflanzen
- Getreideganzpflanzenanbau
- Ölpflanzen

Es können Hektarerträge Trockenmasse pro Jahr angenommen werden für

- Schnellwachsende Gehölze 5 – 11 t
- C4-Pflanzen 10 – 25 t
- Getreide 9 – 15 t

Das entsprechende Heizöläquivalent pro Hektar und Jahr ist

- Schnellwachsende Gehölze 2.400 – 5.000 l
- C4-Pflanzen 4.800 – 12.000 l
- Getreide 4.500 – 7.500 l

Jeweils bezogen auf die Stilllegungsflächen im Lkr. Konstanz sind das bei

- Schnellwachsenden Gehölzen 4,8 – 10 Mio. l
- C4-Pflanzen 9,6 – 24 Mio. l
- Getreide 9 – 15 Mio l

⁷⁵ Wie andere Begriffe im Zusammenhang mit Energie ist auch dieser unglücklich, ist doch jede Pflanze eine Energiepflanze. Gemeint sind hier ein- oder mehrjährige Pflanzenarten, die schnell wachsen und zur Erzeugung fester oder flüssiger Energieträger besonders geeignet sind.

Bei einem Anbau von Raps wären Ölerträge von rund 2000 ha x 1.200 l/ha = 2,4 Mio l zu erzielen, wobei die anderen Pflanzenteile ebenfalls einer energetischen Verwertung (z.B. in Biogasanlagen) zugeführt werden können.

Da die Autoren nicht bewerten können, welche Flächen in welchem Umfang für welche Pflanzen geeignet sind, soll die Abschätzung jeweils am unteren Rand der möglichen Erträge und zu je einem Viertel erfolgen und ergibt ein Heizöläquivalent von 6,5 Mio. l, entsprechend 65 Mio. kWh.

In die Gesamtübersicht wird ein Potential von 65 GWh aufgenommen.



Anbau von schnellwachsenden Pappeln auf Stilllegungsflächen

Reine Grasvergärung

Eine neue Technologie, welche in der Schweiz von der Firma 2B AG entwickelt wurde und in Schaffhausen erstmals zum großtechnischen Einsatz kommt, bietet vielversprechende neue Perspektiven: Das weltweit erste kommerziell betriebene Graskraftwerk verarbeitet ausschließlich frisch geschnittenes, bzw. siliertes Gras, braucht also keinerlei tierische Abfälle. Ein weiterer Schwachpunkt bisheriger Biogaskonzepte, die wirtschaftliche Verwendung der Abwärme, entfällt, weil alle Wärme im Prozess benötigt wird und aus den Grasbestandteilen neue Produkte mit Wertschöpfung hergestellt werden. Unter Dampfeinwirkung werden die Zellwände der Gräser aufgetrennt, die Fasern werden vom Rest getrennt. Eine weitere Einrichtung scheidet die Proteine (hochwertiges pflanzliches Tierfutter) ab, bevor die verbliebene „Grassuppe“ in den Reaktor fließt. Dort lässt sich durch Vergärung Biogas gewinnen. So werden drei Produkte gewonnen – Fasern, Proteine und Biogas. Die Anlage soll pro Jahr rund 20.000 t Wiesengras, Geschwemmsel aus dem Rhein und Rasenschnitt verarbeiten. Sollte sich der Ansatz bewähren, ergeben sich auch für die untersuchte Region beachtliche Potentiale zur energetischen und stofflichen Verwertung von Wiesenschnitt aus der Landwirtschaft. Eine seriöse quantitative Abschätzung der Potentiale ist zum derzeitigen Zeitpunkt nicht möglich, der Betrieb von 2 – 3 Anlagen der beschriebenen Größenordnung erscheint in der Region aber möglich.

Stroh

Grundsätzliches:

Die energetische Nutzung von (Überschuss)-Stroh ist prinzipiell möglich, in Deutschland bisher allerdings nicht sehr weit verbreitet. Von insgesamt 212 PJ Primärenergie auf Basis biogener Brennstoffe kamen 1999 in Deutschland gerade 2,8 PJ aus der energetischen Strohnutzung⁷⁶, demgegenüber stehen technisch nutzbare Potentiale von rund 100 PJ pro Jahr⁷⁷. Die Gründe für die fehlende Potentialausnutzung sind vielfältig, unter anderem gilt Stroh als verbrennungstechnisch schwieriger Brennstoff. So weist Stroh z.B. gegenüber Holz eine geringere Dichte, einen höheren Aschegehalt, höhere Chlor- und Stickstoffgehalte, u.a. auf.

In den letzten Jahren hat aufgrund der Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen insgesamt, insbesondere aber der Energie- und Umweltpolitik in Dänemark die energetische Nutzung von Stroh an Bedeutung gewonnen. Dänemark ist zum europäischen Vorreiter avanciert, es verfügt über 70 % der gesamten (!) in der EU installierten Leistung. So sind im kleinen Dänemark 9 große Heizkraftwerke mit rund 100 MW installierter elektrischer Leistung, 58 mittelgroße Heizwerke mit rund 150 MW installierter thermischer Leistung und ca. 10.000 kleine Einzelanlagen z.T. mit kleinen Nahwärmenetzen installiert. Diese Situation ist das Ergebnis klarer politischer Zielvorgaben, mit denen bereits seit Mitte der neunziger Jahre die Nutzung von Stroh als Brennstoff gefördert wurde. Über die Hälfte der Kraftwerke betreibt eine Beifuerung mit Hausmüll, Holzchips oder fossilen Energieträgern⁷⁸.

⁷⁶ **Basisdaten Bioenergie Deutschland**, (Hrsg.) Biomasse Info-Zentrum, Stuttgart 2001

⁷⁷ **Energie aus Biomasse – Grundlagen, Technik und Verfahren**. M. Kaltschmitt und H. Hartmann, Heidelberg 2001

⁷⁸ alle Aussagen zu Dänemark aus: **Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse**, Tagungsband der Gülzower Fachgespräche, (Hrsg.) Fachagentur nachwachsende Rohstoffe im Auftrag des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Gülzow, 2001

In Deutschland hat der eon-Konzern ein umfangreiches Versuchsprogramm zur Beifeuerung von Stroh in einem Heizkraftwerk ⁷⁹ durchgeführt. Gegenüber dem reinen Kohlenbetrieb konnten bis zu einer Beimischung von 10% (entsprechend 10 MW Heizleistung) folgende Ergebnisse festgestellt werden:

- Die Zufeuerung ist die wirtschaftlichste Lösung
- Sie ist unter günstigen Rahmenbedingungen konkurrenzfähig
- Der Heizwert des eingesetzten Strohs entspricht etwa demjenigen der Braunkohle
- Keine erhöhte Verschlackungs- und Korrosionsneigung.
- Grenzwerte der 13. und 17. BimSchV deutlich unterschritten
- Keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung der Reststoffe.

In Österreich sind rund 30 MW thermisch installiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß einer stärkeren energetischen Nutzung des Strohs weder von Seiten der Technik noch der verfügbaren Potentiale grundsätzliche Hindernisse im Wege stehen. Es stehen Verbrennungsanlagen verschiedener Technologie und Leistungsklassen zur Verfügung: mehrere Dutzend Firmen bieten Anlagen zur halb- oder vollautomatischen Verbrennung für Häckselgut, Hochdruckballen, Großballen oder Strohpresslinge an.



Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Der Energieinhalt des technischen Strohpotentials im Lkr. Konstanz beträgt gemäß einer Studie von 1990 unter Berücksichtigung der einschränkenden Faktoren rund 80 Tj/a ⁸⁰, das sind rund 22 GWh. Die in den Betrieben nicht benötigten Strohmen gen lassen sich aber z.Zt. gut verkaufen. Deswegen und weil der Landkreis in absehbarer Zeit nicht über eine geeignete großtechnische Verbrennungsanlage verfügen wird, wurden die Potentiale des Strohs nicht in die Gesamtübersicht aufgenommen.

Als Anregung angefügt seien folgende Hinweise, die in der nämlichen Studie gemacht werden:

- Unter gewissen Bedingungen kann die Koppelung der Strohverbrennung mit einer Holzhackschnitzelheizung sinnvoll sein.
- Eine Strohheizung kann im Einfamilienhausbereich oder in landwirtschaftlichen Betrieben deutlich günstiger als eine Ölheizung sein.
- Die Gemeinden Aach, Büsingen, Gottmadingen und Volkertshausen verfügen über ein vergleichsweise hohes spezifisches Strohaufkommen und ein relativ großes freies Strohpotential. Dort wäre die Prüfung konkreter Anlagen am ehesten aussichtsreich.

⁷⁹ 1996 im Block B des Braunkohlekraftwerks Schwandorf, 108 MW Bruttoleistung, Angaben aus:

Technischer Großversuch zur Mitverbrennung von Biomasse in einem Braunkohlekraftwerk, W. Schmidt, Bayernwerk AG, Vortrag in Essen, 1997

⁸⁰ **Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hoahrhein-Bodensee** - Juni 1990 angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart, Mitarbeiter: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hoahrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz

Abschliessende Beurteilung zum Kapitel Biomasse

Die Planung und der Aufbau einer Energieversorgung, die fast ganz auf regenerativen Energieträgern basiert, ist keineswegs als Rückschritt hin zu Methoden aus vorindustrieller Zeit zu bewerten. Damals haben die Menschen ihren Energiebedarf zwar beinahe ausschliesslich mit Hilfe regenerativer Energieträger gedeckt, aber ihr Handeln war im allgemeinen weder geplant, noch besonders verantwortungsbewusst oder gar nachhaltig. Zum Beispiel sind damals die Wälder ganzer Regionen den egoistischen Interessen Weniger geopfert worden. Die bevorstehende Entwicklung einer Energieversorgung, die weitgehend und letzten Endes ausschliesslich regenerative Energieträger nutzt, weist deutliche Parallelen auf zu einem ähnlichen bedeutenden Schritt, den die Menschen vor ca. 7000 Jahren vollzogen haben, weg vom Jagen und Sammeln, hin zur Landwirtschaft. In beiden Fällen handelt es sich um Entwicklungen, die von Fachleuten als die Aufgabe der „aneignenden“ Form von Nahrungs- bzw. Energiegewinnung zugunsten einer „produzierenden“ Form bezeichnet wird. Wir sind davon überzeugt, dass vor uns ein langer, aber sinnvoller Weg und viel interessante Arbeit liegt.

Geothermie

Als Geothermie wird allgemein die in Form von Wärme unter der Erdoberfläche gespeicherte Energie definiert. Je weiter man in die Tiefe vordringt, umso wärmer wird es, in Mitteleuropa um ca. 3°C pro 100 m. Unter den erneuerbaren Energien nimmt die Geothermie wegen ihrer spezifischen Eigenschaften eine besondere Stellung ein: Sie steht unabhängig von Witterung, Tages- und Jahreszeiten immer bedarfsgerecht zur Verfügung. Geothermische Energie ist Grundlastenergie!

In Deutschland insgesamt, aber auch in der untersuchten Region sind die Möglichkeiten der Geothermie nahezu unbekannt, was den innewohnenden Potentialen nicht gerecht wird.

Weltweit sind derzeit ca. 8000 – 9000 Megawatt elektrisch und ca. 10 000 MW thermisch aus geothermischen Anlagen installiert. In Island sind Öl und Gas für Heizzwecke bis auf wenige Ausnahmen praktisch vom Markt verschwunden. Die Wärmeversorgung der klimatisch nicht gerade verwöhnten Insel im Nordatlantik basiert zu über 85% auf geothermischen Ressourcen. In und um Paris werden seit den Siebzigern gut 250.000 Wohnungen geothermisch beheizt. Strom und Wärme aus geothermischer Energie spielen auch in vielen anderen Regionen der Erde eine bedeutende Rolle. Zu den größten Stromproduzenten gehören die USA mit rund 3000 MW, die Philippinen, Indonesien und Mexiko. Die Millionenstadt San Francisco wird fast ausschließlich mit Strom aus geothermischen Quellen versorgt. In einigen der kleineren mittelamerikanischen Staaten stellt die Geothermie die wichtigste Säule der nationalen Energieversorgung dar. Die geothermische Stromerzeugung ist eine italienische "Erfindung", sie begann im Jahre 1904 in der Toskana.

Um die Wärme aus dem Untergrund gewinnen zu können, braucht man ein Transportmedium: Wasser oder Dampf. Wenn mit Wasser gefüllte Schichten, sogenannte Aquifere vorhanden sind, muß das warme Wasser lediglich an die Oberfläche gepumpt werden. Ist dies nicht der Fall, müssen aufwendigere Verfahren, wie z.B. die „Hot-Dry-Rock“-Technik eingesetzt werden. In künstlich erzeugte Spalten und Bohrungen wird von der Oberfläche her kaltes Wasser gepresst, welches sich erwärmt und wieder nach oben gefördert werden kann.

Grundsätzlich unterscheidet man 3 Grundtypen der Geothermienutzung: oberflächennahe Systeme mit geringen Temperaturen, Bohrungen in mittlere Tiefen und Tiefbohrungen mit Temperaturen bis zu mehreren hundert Grad. Die Grundtypen werden im folgenden für die untersuchte Region jeweils separat betrachtet.

Oberflächennahe Geothermie

Grundsätzliches:

Ab spätestens zehn Meter „unterhalb der Rasenkante“ hat das Erdreich eine von Witterung und Jahreszeit völlig unabhängige, gleichbleibende Temperatur um die 10° C. Um dieses physikalisch beachtliche Potential zur Beheizung von Gebäuden nutzen zu können, braucht es eine Erdwärmesonde, eine Wärmepumpe und ein Niedertemperaturheizungssystem. Erdwärmesonden sind relativ simple Bauteile, nicht viel mehr als geschlossene Rohrsysteme, die in Pfählen von einigen Metern oder Bohrungen bis zu etwa einhundert Metern Tiefe in den Boden eingebracht werden. Die in der Erdwärmesonde zirkulierende Flüssigkeit erwärmt sich auf Erdreichniveau, anschließend wird

mittels der Wärmepumpe die Temperatur auf das Vorlaufniveau des Heizsystems angehoben. Der dafür eingesetzte Strom sollte allerdings grundsätzlich aus regenerativen Quellen stammen, damit auf den Stromeinsatz nicht die bei fossiler Erzeugung anfallenden Verluste von rund 2/3 angerechnet werden müssen, was die Gesamtenergiebilanz wieder erheblich verschlechtern würde. Eine Alternative stellen gasmotorisch betriebene Wärmepumpen dar, die eine deutliche Verbesserung der CO₂-Bilanz erreichen.

Technische Potentiale:

Da eine Nutzung der oberflächennahen geothermischen Potentiale nur in unmittelbarer Nähe zum Wärmebedarf Sinn macht, kann die Energiedichte pro Fläche lediglich auf die Siedlungsgebiete Anwendung finden. Wieviel Energie dem Untergrund am jeweiligen Standort entzogen werden kann, hängt von verschiedenen Parametern ab, wie der Wärmeleitfähigkeit des Gesteins / Bodens, den Grundwasserverhältnissen, der Erdsondengeometrie u.a. Angaben in der Literatur bzw. Erfahrungswerte schwanken zwischen 20 und 100 W, die pro Meter Erdsonde entzogen werden können. Im folgenden wird mit einem unteren Mittelwert von 50 W/m⁸¹ gearbeitet.

Es zeigt sich die spezifische Schwierigkeit der Potentialabschätzung für geothermische Energie: Bei einem konkreten Gebäude wird die Länge der Erdsonde aus dem Heizbedarf und den für den Standort bekannten Parametern errechnet. Es wird eine möglichst hohe, bzw. betriebswirtschaftliche optimale Deckung angestrebt, unter Umständen statt einer mehrere Erdwärmesonden vorgesehen. Die hier vorzunehmende Abschätzung ist insofern etwas widersinnig, weil die Länge der Erdsonden

gerade nicht bekannt, sondern variabel ist, und prinzipiell jedes Gebäude damit ausgerüstet werden könnte⁸². Das technisch verfügbare Potential ist also weniger von der Angebotsseite als vielmehr von der Nachfrageseite her beschränkt. Die im Kapitel „Zielsetzung der Studie“ getroffenen Unterscheidungen der Potentialbegriffe werden bei der Geothermie fragwürdig und müssen gesondert diskutiert werden. Wollte man das gesamte theoretische Potential den oberflächennahen Gesteinsschichten entziehen, so müsste die Siedlungsfläche des Lkr. Konstanz mit Erdwärmesonden in einem Raster von 20 m versehen werden, es ergäbe sich ein enormes Potential von rund 1.000 GWh. Dennoch soll hier der Versuch einer realistischen Potentialabschätzung unter bestimmten Vorannahmen getroffen werden.

Praktische Herangehensweise: In der Schweiz wurden innerhalb weniger Jahre mehr als 20.000 Erdwärmesonden installiert, was zeigt, daß in relativ kurzer Zeit oberflächennahe geothermische Potentiale erschlossen werden können.

Umgerechnet über die Einwohnerzahl würde das für die untersuchte Region ziemlich genau 1.000 Erdwärmesonden entsprechen. Bei einer Länge von 100 m und einer Entzugsleistung von 50 W/m, sowie 2.000 Vollaststunden ergibt dies ein Potential **von 10 Mio. kWh jährlich.**

Theoretische Herangehensweise: Im Lkr. Konstanz existieren knapp 50.000 Wohngebäude⁸³. Da die Beheizung mittels Erdwärmesonden nur in Gebäuden mit relativ geringem Heizwärmebedarf Sinn macht, wird nur jedes 10. Gebäude entsprechend nachgerüstet, Gebäude mit mehreren Wohnungen entsprechend mit mehreren Sonden. Es werden 6.000 Erdwärmesonden mit den vorgenannten Annahmen eingebaut, was ein **Potential von 60 Mio. kWh** ergibt.

⁸¹ Entzugsleistung für normalen Festgestein-Untergrund nach VDI 4640, 1998

⁸² **Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen?**, B. Sanner, 1998 sowie: **Einfluss von Klima und Standort auf das Betriebsverhalten vom Erdwärmesonden-Heizanlagen** W. Eugster, P. Seifert, R.J. Hopkirk, L. Rybach, im Tagungsband zur 2. Geothermischen Fachtagung Erding, 1992

⁸³ exakt 49.102, Fortschreibung des Bestandes zum 31.12.2000 auf der Basis GWZ vom 25.05.1987
Quelle: Statistisches Landesamt, Stuttgart gemäß Anfrage vom 10.09.2001

Das in absehbarer Zeit tatsächlich erschliessbare Potential (ausdrücklich nicht das technisch verfügbare) dürfte irgendwo dazwischen liegen. In die Potentialübersicht wird ein Wert von 30 Mio. kWh = 30 GWh aufgenommen.



**Ein Hinweis auf die geothermischen Potentiale in der Region:
das Thermalbad in Konstanz**

Photo: Hella Wolff-Seybold

In mittleren Tiefen:

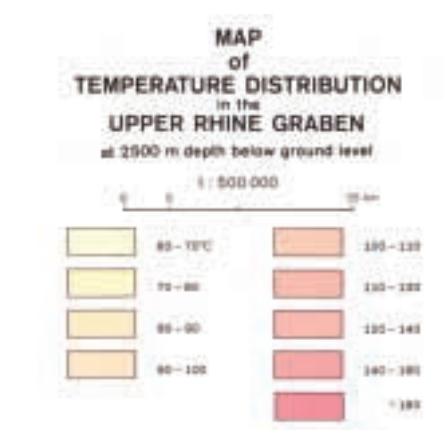
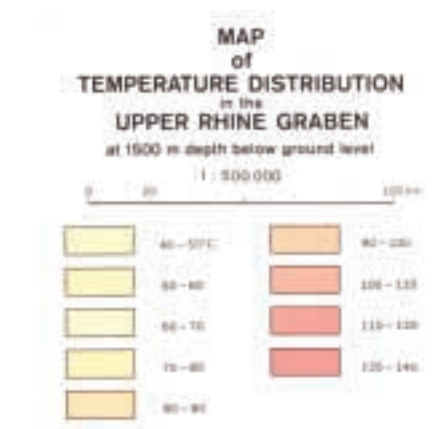
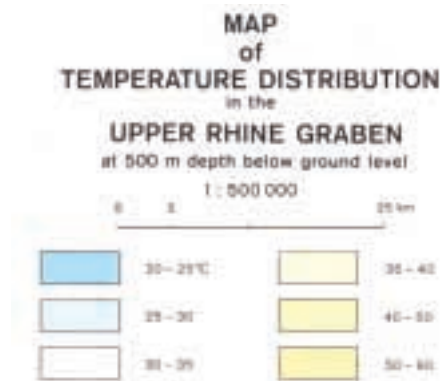
Grundsätzliches:

Das untersuchte Gebiet liegt am westlichen Rand des sogenannten „süddeutschen Molassebeckens“, welches eines der bedeutendsten Reservoirs geothermischer Energie in der Bundesrepublik Deutschland darstellt und rund 20.000 km² umfasst. Im gesamten wasserführenden Kalkgestein des Alpenvorlandes zwischen Alpennordrand und Donau ist heißes Tiefenwasser, z.T. in Trinkwasserqualität vorhanden. Hier sind vor allem die Schichten des oberen Jura (Malmkarst) als Aquifere ausgebildet. Zusätzlich können aus den Schichten des Tertiärs und der Kreide weitere Wärmemengen gewonnen werden. Vereinfacht gesagt, handelt es sich um eine schräg gestellte, wasserführende Gesteinsschicht, die nördlich der Donau als Schwäbische und Fränkische Alb zutage tritt und nach Südosten unter das Sediment der Molasse abtaucht, wo sie am Alpennordrand eine Tiefe von rund 5.500 m unter NN erreicht⁸⁴. Diese Orientierung NW – SO hat auch konkreten Einfluss auf die zu treffenden Potentialaussagen für das Untersuchungsgebiet Hegau / westl. Bodensee. So liegt der Malmkarst im untersuchten Gebiet in einer Tiefe von 1000 bis 2000m unter der Oberfläche, und zwar abfallend von NW nach SO.

Forschungsprojekte, Studien und nicht zuletzt Probebohrungen⁸⁵ mit entsprechender Auswertung, z.B. in Singen und Konstanz (Thermalwasser), in Dingelsdorf, Owingen und Billafingen (Erdölexploration) haben die Voraussetzungen geliefert um die Potentiale geothermischer Energie abzuschätzen und zukünftig diese Potentiale in wirtschaftlich relevanten Größenordnungen zu nutzen. Durch die kartenmäßige Darstellung der geothermischen Ressourcen ist es möglich, Zonen zur Standortoptimierung für geothermische Energienutzung auszuweisen.

⁸⁴ Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken, Teilgebiet Hydrogeothermik, H. Frisch u.a., Schlußbericht des Forschungsvorhabens 03 E 6240 A/B, 1989

⁸⁵ Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg, B. Bertleff u.a., Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg 1988



Das untersuchte Gebiet am Westrand des Molassebeckens West ⁸⁶

⁸⁶ Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland, 1998, R. Haenel, E. Staroste (Hrsg.) bzw. Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community, Hannover 1990
 Herausgegeben von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft

Die warmen Tiefengrundwässer des Oberen Muschelkalk mit Temperaturen zwischen 40 und 80 °C und einer Ergiebigkeit von 5 bis 20 l/s können mit Bohrungen angezapft werden, dem Wasser wird Wärme zu Heizzwecken entzogen, das abgekühlte Wasser wird nach Möglichkeit mit einer weiteren Bohrung wieder in den Grundwasserleiter zurückgeführt. (sog. Dubletten-Bohrung)

Die bereits bei den oberflächennahen geothermischen Potentialen angesprochene Problematik der Potentialbegriffe wird bei den geothermischen Potentialen aus den mittleren Tiefen noch deutlicher. Verblüffend an den geothermischen Potentialen aus mittleren Tiefen ist nämlich, daß die Angebotsseite die Nachfrage bei weitem übersteigt! Dies steht zum einen in einem seltsamen Widerspruch zum Stellenwert der geothermischen Energie in der öffentlichen Diskussion (auch in Kreisen der Freunde und Befürworter der Erneuerbaren Energien), wo sie markant unterrepräsentiert ist. Zum anderen führt es die besondere Qualität dieser Studie, nicht wirtschaftliche, sondern technische Potentiale auszuweisen, in einen Grenzbereich. Einem technischen Angebotspotential im Molassebecken von 88.000 PJ steht nach einer neuen Studie ein technisches Nachfragepotential von lediglich 101 PJ pro Jahr gegenüber ⁸⁷. (Erfasst wurde in dieser Studie das technische Nachfragepotential in den Sektoren Haushalte, Kleinverbraucher und Industrie mit einem Temperaturniveau von unter 100 °C). Ein älteres Forschungsvorhaben kam unter Beteiligung dreier Landesämter ⁸⁸ zum Ergebnis, daß im Molassebecken insgesamt 53.000 PJ Ressourcen ⁸⁹, davon rund 30.000 PJ wirtschaftlich gewinnbare Reserven angebotsseitig zur Verfügung stehen. (Das entspricht etwa 750 Mrd. t Heizöl)

Zusammenfassend können in einer ersten Annäherung an realistische Potentialgrößen zunächst folgende Kernaussagen getroffen werden ⁹⁰:

- Als besonders geeignet für eine geothermische Nutzung erweisen sich... das Molassebecken ...
- Zusammengenommen werden ... aufgrund des großen technischen Erdwärmepotentials die Möglichkeiten zur Nutzung hydrothermalen Erdwärmes ... meist nicht durch das verfügbare Angebot, sondern durch nachfrageseitige Restriktionen und damit die zu deckende Nachfrage bestimmt
- Das technische Angebotspotential an Nutzwärme mit einem Temperaturniveau unter 100°C übersteigt im Molassebecken West die gegebene Nachfrage
- Die Versorgung bestehender Bausubstanz mit hydrothermalen Erdwärmes ist geringfügig teurer als die durch konventionelle Heizanlagen. Es zeigt sich aber auch, daß Niedertemperaturwärme für Neubaugebiete mit modernen Heizanlagen in einigen Regionen (darunter Molassebecken) im Vergleich zu den fossil gefeuerten Heizzentralen kostenneutral oder sogar kostengünstiger bereitgestellt werden kann.
- Die wirtschaftlich erschließbaren Potentiale reagieren hochsensibel auf den angenommenen Wärmepreis. So verzehnfacht sich das Potential bei einer nur leichten Erhöhung des angenommenen Wärmepreises von 55 auf 65 DM / MWh frei Heizzentrale im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher bzw. von 30 auf 40 DM / MWh im Sektor Industrie.

⁸⁷ **Angebotspotential der Erdwärme sowie rechtliche und wirtschaftliche Aspekte der Nutzung hydrothermalen Ressourcen**, Huenges, Kayser, Kaltschmitt u.a., im Geothermie-Report 98, veröffentlicht vom GeoForschungsZentrum Potsdam, 1998

⁸⁸ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft und Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, letzteres zuständig für das Teilgebiet Hydrogeothermik, Schlußbericht 1989: R. Schulz, M. Jobmann, R. Haenel

⁸⁹ Ressourcen werden in der zitierten Studie definiert als: "der Anteil des geothermischen Energievorrats, der sich beim jetzigen Stand der Technik dem Untergrund entnehmen und möglicherweise in naher Zukunft auch eine wirtschaftliche Nutzung erwarten läßt."

⁹⁰ **Potentiale und Kosten einer geothermischen Energiegewinnung in Deutschland**, Martin Kayser, Peer Hooth & Martin Kaltschmitt, 1998 im Tagungsband zur 5. Geothermischen Fachtagung Straubing

Gerade die letztgemachte Aussage verdeutlicht und unterstützt die zentrale Zielsetzung der vorliegenden Studie. Potentiale, die aktuell gerade noch unwirtschaftlich sein mögen, sind bereits bei kleinen Veränderungen der Vergleichspreise fossiler Energien konkurrenzfähig und stehen dann in erheblichem Umfang zur Verfügung. Zur Bewertung technischer und wirtschaftlicher Potentiale werden in der hier zitierten Studie ebenfalls Richtgrößen genannt, die dieses verdeutlichen.

Wärmegestehungskosten frei Heizzentrale ⁹¹

	Haushalte und Kleinverbraucher		Industrie
	Best. Bausubstanz 90 °C/70 °C, 2.000 h	Neubau 65 °C/35 °C, 2.000 h	
	in DM / MWh		65 °C/35 °C, 6.000 h
Weser-Ems	67-76	52-56	35-40
Niedersachsen	59-76	52-58	25-40
Schleswig-Holstein	64-65	55-60	27-33
Süd-Brandenburg	77-83	62-63	42-43
Nord-Brandenburg	74-79	58-62	38-43
Ost-Mecklenburg	64-72	54-56	30-38
West-Mecklenburg	58-72	52-54	28-38
Vorpommern	85	69	45
Subherzyne Senke	84	63	43
Thüringer Becken	85	69	45
Süddeutsche Senke	74	55	38
Rheingraben Nordteil	62-64	60-62	24
Rheingraben Südteil	56-61	47-54	31-42
Molassebecken (West)	58-79	47-60	33-46
Molassebecken (Ost)	55-78	48-58	27-41
Ölheizzentrale	55-60	55-60	38-40
Gasheizzentrale	60	60	43

Geothermische Wärmegestehungskosten frei Heizzentrale sind im Molassebecken West konkurrenzfähig mit den Kosten fossiler Energieversorgung.

⁹¹ **Potentiale und Kosten einer geothermischen Energiegewinnung in Deutschland**, Martin Kayser, Peer Hooth & Martin Kaltschmitt, 1998 im Tagungsband zur 5. Geothermischen Fachtagung Straubing

Zur weiteren größtmäßigen Eingrenzung der geothermischen Potentiale in der untersuchten Region muß berücksichtigt werden, daß die tatsächliche Nutzung wie bei jeder anderen Nah- oder Fernwärmenutzung nur an den Standorten wirtschaftlich interessant ist, wo

- eine hohe Wärmebedarfsdichte oder ein großer Einzelverbraucher vorhanden ist und
- eine hohe Zahl von Vollbenutzungsstunden erreicht werden kann.

Dies gilt für geothermische Anlagen in besonderer Weise, weil die hohen Investitionen von mehreren Millionen Euro für die Bohrung nur lohnen, wenn die gewonnene Erdwärme auch in vollem Umfang genutzt werden kann. Die Zahl der für eine Erdwärmenutzung geeigneten Gemeinden muß unter Einbeziehung dieses Auswahlkriteriums deshalb von 25 (alle im Lkr. Konstanz) auf „nur noch vier“ reduziert werden. Es sind dies die größten Städte Konstanz, Singen und Radolfzell, sowie die Gemüseinsel Reichenau mit ihren Treibhäusern. In Frage kommen evtl. auch Stockach, Engen und Rielasingen/Worblingen. In diesen Städten leben deutlich mehr als die Hälfte aller Menschen und es wird weit mehr als die Hälfte der Wärmeenergie in der untersuchten Region gebraucht, der Aufbau von Nahwärmenetzen mit entsprechender Abnahmekapazität ist machbar. Es kann von einem leicht erhöhten Temperaturgradienten von 3 bis 4,5 °C pro 100 Meter Tiefe, einer Wassertemperatur zwischen 40 und 75 °C, und einer Ergiebigkeit zwischen 5 und 20 l/s ausgegangen werden ⁹².

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

Orientiert man sich am erfolgreichen Vorbild Straubing ⁹³ und geht davon aus, daß in den genannten vier Orten jeweils eine oder mehrere Dublettenbohrungen niedergebracht werden, so kann mindestens eine Wärmeleistung von 20 – 50 MW installiert werden, was je nach Jahresnutzgrad einer Energie von 80.000 – 400.000 MWh entspricht.

In die Übersicht aufgenommen wird ein Potential von 200.000 MWh = 200 GWh

Tiefbohrungen, Hot-Dry-Rock

Grundsätzliches:

In einer Tiefe von 4 bis 6 km herrschen nahezu standortunabhängig Temperaturen von 150 bis 200 Grad Celsius. Beim Hot-Dry-Rock-Verfahren (HDR) wird mit Tiefbohrungen das heiße Gestein wie ein überdimensionaler Durchlauferhitzer genutzt: kaltes Wasser wird in das Gestein gepresst, weitere Bohrungen nehmen das durch künstlich erweiterte Klüfte gepresste Wasser wieder auf und befördern es an die Oberfläche. Bei einem Temperaturniveau von deutlich über 100 °C kann über Wärmetauscher Dampf erzeugt werden, welcher in herkömmlichen Dampfturbinen Strom erzeugt. Dem Wasser kann weitere Energie auf niedrigerem Temperaturniveau für Heizzwecke entzogen werden, bevor es im geschlossenen Kreislauf wieder ins heiße Gestein verpresst wird.

Ein einziger Kubikkilometer heißes Gestein liefert bei Abkühlung von 200 auf 100 °C genug Energie, um 30 Jahre lang ein Heiz-Kraftwerk mit einer thermischen Leistung von 300 MW zu bedienen, der dabei erzeugte Strom versorgt eine Stadt mit 150.000 Einwohnern ⁹⁴.

- ⁹² **Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-Bodensee** - Juni 1990, angefertigt vom Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart, Mitarbeit: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich, M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.; Auftraggeber: Regionalverband Hochrhein-Bodensee, Landrat Dr. Bernhard Wütz
- ⁹³ **Geothermieprojekt Straubing. Thermal- und Mineralwasser zum Baden und Heizen – 10 Jahre Erfahrung – von der Durchführbarkeitsstudie bis zur Inbetriebnahme**, Walter Jähn, Werksleiter Stadtwerke Straubing an der Geothermischen Fachtagung 1999, Basel
- ⁹⁴ **Machbarkeitsstudie Phase 3 zur Durchführung eines Hot-Dry-Rock-Demonstrationsvorhabens am Standort Bad Urach, Ermittlung von Kluftsystem, Spannungsfeld und hydraulischen Parametern im Gneisgebirge der Vertiefungsbohrung Urach 3**, Helmut Tenzer, Stadtwerke Bad Urach, 1996

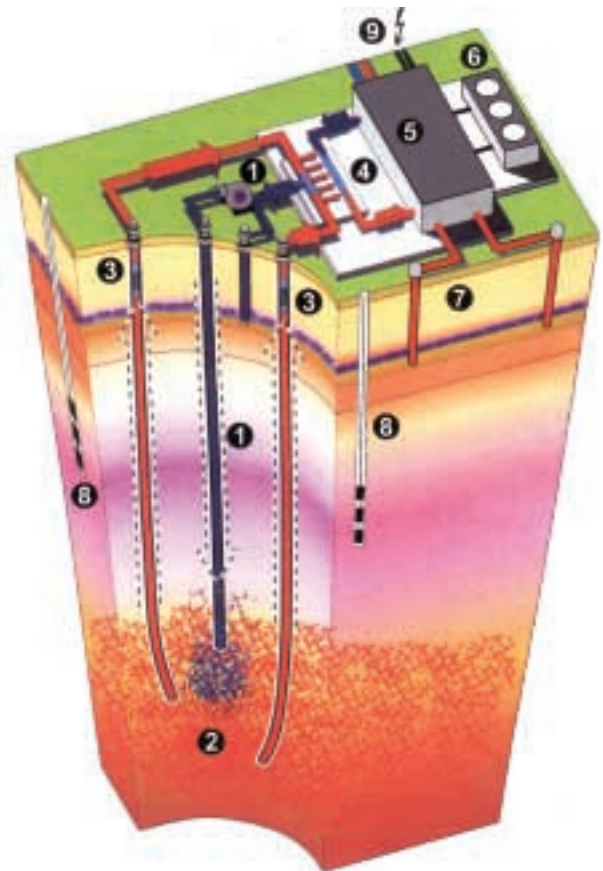
Im Umkreis von 150 km gibt es derzeit mindestens drei Projekte mit derlei Zielsetzung:

Im französischen Soultz im Elsaß wurde 1987 das europäische Hot-Dry-Rock-Forschungsprojekt gestartet. Seitdem wurde in mehreren Phasen die grundsätzliche Eignung des Verfahrens nachgewiesen. Es wurden ausgedehnte Rißsysteme zur Wärmeübertragung des Gesteins auf das Wasser erzeugt, das Zirkulationssystem ist unter kalkulierten Bedingungen machbar und beherrschbar, eine Vertiefung der Bohrung hat 1999 in 5.000 m Tiefe Gesteinstemperaturen von rund 200°C erreicht. In einem mehrmonatigen Zirkulationstest wurde eine thermische Dauerleistung von rund 11 MW erzielt ⁹⁵.

Pioniere in Deutschland waren Stadt und Stadtwerke Bad Urach. In dem südwestlich von Stuttgart gelegenen Thermalbad ist das ehrgeizigste deutsche Projekt in Arbeit. Die Tiefbohrung Urach 3 erreichte 4.440 m Tiefe und Gesteinstemperaturen von rund 175 °C. In mehreren Ausbaustufen werden dort zukünftig 6-7 MW Strom und rund 20 MW Wärme gefördert. Die Stromgestehungskosten sollen nach Modellrechnungen zwischen 15 und 20 Pfennig pro kWh betragen und liegen damit durchaus im Bereich anderer erneuerbarer Energien.

Das „Deep Heat Mining“-Projekt in Basel hat eine ähnliche Größenordnung: Es sind Förder- und Injektionsbohrungen mit 5.000 m Tiefe und einem Jahresertrag von 20.000 MWh elektrischer Energie und 100.000 MWh Wärme geplant, womit rund 5.000 Haushalte versorgt werden sollen.

Das Hot-Dry-Rock Verfahren zur Nutzung der Tiefengeothermie ist auch in der untersuchten Region möglich, dort schlummern enorme Potentiale



- ① Injektionsbohrung mit Injektionspumpe
- ② Stimuliertes Kluftsystem (Tiefe: ca. 4000-6000m, T: ca. 200°C)
- ③ Förderbohrungen
- ④ Wärmetauscher
- ⑤ Turbinenhaus
- ⑥ Kühlung
- ⑦ Speicher für Überschusswärme
- ⑧ Beobachtungsbohrungen
- ⑨ Zum Verbraucher Strom und Wärme

⁹⁵ **Hot Dry Rock: Schlüssel zur flächendeckenden Erdwärmenutzung**, J. Baumgärtner, SOCOMINE S.A., R. Weidler u. R. Jung, Bundesanstalt f. Geowissenschaften, M. Häring, R. Hopkirk, Polydynamics Engineering, 1997

Technische Potentiale in der untersuchten Region:

In der untersuchten Region ist die Nutzung des Hot-Dry-Rock-Verfahrens angebotsseitig grundsätzlich überall möglich. Eine tatsächliche Nutzung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, insbesondere eine Nutzung der beim Verfahren anfallenden thermischen Energie in Nahwärmenetzen wird aber (wie auch bei der Geothermie aus mittleren Tiefen) nur in größeren Gemeinden ab ungefähr 10.000 Einwohnern sinnvoll sein. Dies sind im untersuchten Gebiet Konstanz, Singen, Radolfzell, Stockach, Rielasingen-Worblingen und Engen.

Die Siedlungsfläche der sechs Gemeinden beträgt zusammen rund 50 km², das darunter im Tiefengestein liegende Energiepotential mehrere Tausend TWh.

Dieses Potential ist grundsätzlich vorhanden.

Geht man von der Installation je eines HDR-Kraftwerkes von der Größe Bad Urach in den 6 derzeit sinnvoll erscheinenden Orten aus, ergibt sich ein Jahresstromertrag von mindestens 200.000 MWh und ein Jahreswärmeertrag von mindestens 600.000 MWh aus tiefer Geothermie. Diese Potentiale finden Aufnahme in die Übersicht.

Übersicht der geothermischen Nutzungsmöglichkeiten in der Region

	Oberflächennah	Niedrigthermal	Hot-Dry-Rock
Einsatzzweck	Wärme Wärmespeicher	Wärme	Strom + Wärme
Technologie	Erdwärmesonden Wärmepumpen Erdberührte Bauteile (Energiepfähle)	Tiefbohrung Wärmetauscher Wärmepumpen	Tiefbohrung Wärmetauscher Turbinen
Geologische Voraussetzungen	Oberflächennahe Wasserleiter	Wasserführende Schichten (Aquifere)	Kristallines Grundgebirge oder klüftig-poröses Sedimentgestein
Teufenniveau	Geringe Teufen	Mittlere Teufen	Große Teufen
Temperaturbereich	(10 – 100 m) Geringe Temperaturen (10 – 25°C)	(200 – 1.000m) Mittlere Temperaturen (30 – 80°C)	(4.000 – 6.000 m) Große Temperaturen (100 – 200°C)
Nutzungsmöglichkeit	Nahezu standortunabhängig	Geeignete Standorte nachfrageseitig	Nahezu standortunabhängig nachfrageseitig
Potentiale	30 GWh	200 GWh	600 GWh und 200 GWh elektr.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Möglichkeiten einer Wärmebereitstellung und Stromerzeugung aus hydrothermalen Energievorkommen beachtlich sind: angebotsseitig könnte eine Wärmemenge bereitgestellt werden, die die Nachfrage deutlich übersteigt. Diese Wärme kann nur zu einem kleinen Teil tatsächlich im Energiesystem untergebracht werden. Selbst bei Berücksichtigung der nachfrageseitigen Einschränkungen bleibt ein Potential von energiewirtschaftlicher Relevanz. Eine weitgehend aus erneuerbaren Quellen bestrittene Energieversorgung der Region wird ohne Mobilisierung der geothermischen Ressourcen deutlich schwieriger werden, bzw. verlangt eine entsprechend größere Effizienzsteigerung. Die für die verschiedenen geothermischen Nutzungsvarianten angegebenen Potentiale sind realistische Mindestgrößen mit erheblichem Spielraum nach oben.

Übersicht der Einheiten und Umrechnungen

Tabelle 1: Einheiten der wichtigen Größenarten

Größe	Formelzeichen	Einheit, Einheitenzeichen
Länge	l, r, s	Meter, m
Fläche	A	m ²
Volumen	V	m ³
Volumen (geschüttet)		Schüttkubikmeter, sm ³
Zeit	t	Sekunde, s
Geschwindigkeit	v	m/s
Beschleunigung	a	m/s ²
Masse	m	Kilogramm, kg
Dichte	r	kg/m ³
Kraft, Gewichtskraft	F, G	Newton, N = kg m/s ²
Energie, Arbeit, Wärmemenge	E, W, Q	Joule, J = N m = W s = kg m ² /s ²
Leistung	P	Watt, W = J/s = kg m ² /s ³
Druck	p	Pascal, P = N/m ² = kg/(s ² m)
Temperatur	T	Kelvin, K
Celsius Temperatur	t	Grad Celsius, °C (t=T-T ₀ ; T ₀ = -273,15 K)
Temperaturdifferenz	ΔT	Kelvin, K
Temperaturdifferenz	Δt	Grad Celsius, °C=K
Wärmeenergie, -menge	Q	J=kg m ² /s ² =W s=N m
Wärmekapazität	C	J/K=W s/K=N m/K=kg m ² /(s ² K)
Heizwert, spezifischer	H _u	J/kg=m ² /s ²

Tabelle 2: Umrechnung von Energieeinheiten ⁹⁶

	kJ	kWh	kg SKE	kg RÖE	m ³ Erdgas
1 kJ	1	0,000278	0,000034	0,000024	0,000032
1 kWh	3 600	1	0,123	0,086	0,113
1 kg SKE	29 308	8,14	1	0,70	0,924
1 kg RÖE	41 868	11,63	1,428	1	1,319
1 m ³ Erdgas	31 736	8,816	1,082	0,758	1

Abkürzungen: SKE: Steinkohleeinheiten, RÖE: Rohöleinheiten

⁹⁶ Energiedaten 1999 (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft Bonn 1999

Tabelle 3: Faustregeln zur Umrechnung des Energiegehalts, Erneuerbare - Fossile ⁹⁷

	Heizwert (in kWh)	Holzpellets (in kg)	Hackschnitzel (in sm ³)	Rapsöl (in l)	Heizöl (in l)	Erdgas (in m ³)
Holzpellets (1kg)	~ 5	1	0,00625	0,5	0,5	0,5
Hackschnitzel (1 sm ³)	~ 800	160	1	80	80	80
Rapsöl, naturbel. (1l)	~ 9,5	2	0,0125	1	1	1
Heizöl (1l)	~ 10	2	0,0125	1	1	1
Erdgas (1m ³)	~ 10	2	0,0125	1	1	1

Tabelle 4: Übersicht fester, flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger ⁹⁸

	Wassergehalt [%]	Masse [kg]	Heizwert [MJ]/kg]	Energieinhalt		Heizöläquivalent [l]
				[MJ]	[kWh]	
Scheitholz						
(bezogen auf 1 Rm)						
Hartholz (Buche)						
lufttrocken	18	482	14,6	7 058	1 961	196
sommertrocken	35	608	11,1	6 751	1 875	188
Weichholz (Fichte)						
lufttrocken	18	345	14,9	5 144	1 429	143
sommertrocken	35	436	11,3	4 924	1 368	137
Hackgut und Holzpellets						
(bezogen auf 1 m ³)						
Hartholz (Buche)						
lufttrocken	18	283	14,6	4 144	1 151	115
waldfrisch	50	464	8,0	3 702	1 028	103
Weichholz (Fichte)						
lufttrocken	18	202	14,9	3 015	838	84
waldfrisch	50	332	8,1	2 699	750	75
Holzpellets	12	650	18,0	11 700	3 250	325

⁹⁷ **Energiedaten 1999** (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft Bonn 1999 sowie **Biogene Brennstoffe** (Hrsg.), Informationszentrum Energie beim Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Stuttgart 2001 und **Mit biogener Energie in die Zukunft** (Hrsg.), Ministerium ländlicher Raum Baden-Württemberg, Stuttgart 2000

⁹⁸ **Basisdaten Bioenergie Deutschland**, Stuttgart 2001

Gewichtsmaße allg.

(bezogen auf 1 t)

Hartholz (Buche)						
lufttrocken	18	1 000	14,6	14 649	4 069	407
sommertrocken	35	1 000	11,1	11 106	3 085	308
Weichholz (Fichte)						
lufttrocken	18	1 000	14,9	14 895	4 137	414
sommertrocken	35	1 000	11,3	11 301	3 139	314
Stroh (Getreide)	15	1 000	14,3	14 254	3 959	396
Landschaftspflege-Heu	15	1 000	14,4	14 424	4 007	401
Getreideganzpflanzen	15	1 000	14,2	14 169	3 936	394
Getreidekörner	15	1 000	14,1	14 084	3 912	391
Rapskörner	9	1 000	23,9	23 895	6 638	664
Holzpellets	< 12	1 000	18,0	18 000	5 000	500

Biotreibstoffe(bezogen auf 1 m³)

Rapsöl	< 0,1	920	36,5	33 580	9 328	933
RME	< 0,03	880	37,2	32 736	9 093	909

Biogas(bezogen auf 1 m³)

1,2	17,9	21,5	6,0	0,6
-----	------	------	-----	-----

Maßeinheiten für Brennholz**Raummeter / Ster (1 rm = 1 ster)**

Ist die Maßeinheit für geschichtete Holzteile (z.B. Scheitholz von 1m Länge) die unter Einschluss der Luftzwischenräume ein Gesamtvolumen von einem Kubikmeter füllen.

Festmeter (1 fm)

Maßeinheit für einen Kubikmeter feste Holzmasse.

(z.B. rundes Stammholz, Länge mal Querschnitt)

Schüttraummeter (srm, sm³)

oder Schüttkubikmeter, Maßeinheit für geschüttete Holzbrennstoffe, vor allem Hackschnitzel.

Umrechnungsfaktoren

1rm ~ 0,7 – 0,8 fm ~ 1,7 – 2,2 sm³

1 fm ~ 1,2 – 1,4 rm ~ 2,5 – 3 sm³

1sm³ ~ 0,4 – 0,5 rm ~ 0,3 – 0,4 fm

Tabelle 5: Vorsätze und Vorzeichen

Kürzel	Präfix	Exponential	in Worten
a	Atto	10^{-18}	Trillionstel
f	Femto	10^{-15}	Billiardstel
p	Piko	10^{-12}	Billionstel
n	Nano	10^{-9}	Milliardstel
m	Mikro	10^{-6}	Millionstel
m	Milli	10^{-3}	Tausendstel
c	Zenti	10^{-2}	Hundertstel
d	Dezi	10^{-1}	Zehntel
Da	Deka	10^1	Zehn
H	Hekto	10^2	Hundert
K	Kilo	10^3	Tausend
M	Mega	10^6	Million
G	Giga	10^9	Milliarde
T	Tera	10^{12}	Billion
P	Peta	10^{15}	Billiarde
E	Exa	10^{18}	Trillion

ADAC Pressestelle, Hannover	BERNER, H. (Hrsg.) (1987) Singener Stadtgeschichte , Band 1
AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LANDSCHAFTS- U. BODENKULTUR, Stockach	BERNER, H. (Hrsg.) (1990) Singener Stadtgeschichte , Band 2
ANEMOS-JACOB, Büro für Windanalyse, Oldershausen	BERTLEFF, B. u.a. (1988) Ergebnisse der Hydrogeothermiebohrungen in Baden-Württemberg , herausgegeben vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg
AUERBACH, W. (2001) Pellets, die Zukunft der Holzenergie? im Tagungsband zum Symposium Energieholz, veranstaltet vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten	BETREIBERDATENBANK DER DEUTSCHEN WINDKRAFTANLAGEN, Rade
BANK SARASIN (Hrsg.) (2000) Photovoltaik 2000. Markt, Akteure, Prognosen. Studie zu Entwicklungschancen und zukünftiger wirtschaftlicher Bedeutung der Photovoltaik	BINE Informationsdienst, Bonn
BAUFORUM SINGEN (Hrsg.) (1984) Dorfbäche im Hegau und auf der Höri Horst Rainer Nies, Peter Ruf, Dr. Gert Wolf, Bernd Dittrich, Georg Breyer, u.a.	BIOMASSE INFO-ZENTRUM (Hrsg.) (2001) Basisdaten Bioenergie Deutschland
BAUMGÄRTNER, J., WEIDLER, R., JUNG, R., HÄRING, M., HOPKIRK, R. (1997) Hot Dry Rock: Schlüssel zur flächendeckenden Erdwärmenutzung	BOXER Infodienst Regenerative Energie www.boxer99.de
BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND (Hrsg.) (1999) Klimaänderungen in Bayern und ihre Auswirkungen. Abschlussbericht	BUNDEMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT, Berlin
BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM F. LANDWIRTSCHAFT U. FORSTEN, München	BUNDEMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT U. TECHNOLOGIE (Hrsg.) (1999) Energie Daten 1999
BERNER, H. (Hrsg.) (1957) Hohentwiel. Bilder aus der Geschichte des Berges	BUNDESVBAND WINDENERGIE e.V., Osnabrück
	C.A.R.M.E.N. Centrales Agrar – Rohstoff – Marketing - und Entwicklungsnetzwerk, www.carmen-ev.de

- DEUTSCHER WETTERDIENST, Regionales Gutachtenbüro Hamburg (2001)
Globalstrahlung in Baden-Württemberg, Mittlere Jahressummen aus dem Zeitraum 1981 – 2000
- DIETER, M. D. (2001)
Energieholzpotentiale in Deutschland
im Tagungsband zum Internationalen Fachkongress für Holzenergie
hrsg. von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
- EUGSTER, W., SEIFERT P., HOPKIRK, R.J. u. RYBACH L. (1992)
Einfluss von Klima und Standort auf das Betriebsverhalten vom Erdwärmesonden-Heizanlagen, im Tagungsband zur
2. Geothermischen Fachtagung Erding, 1992
- EUROSOLAR (Hrsg.) (2000)
Der Landwirt als Energiewirt, Konferenzband zur 2. Internationalen
EUROSOLAR-Konferenz
- EUROSOLAR (Hrsg.) (2001)
Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt, Konferenzband zur
3. Internationalen EUROSOLAR-Konferenz
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.) (2001)
Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse, Tagungsband der Gölzower
Fachgespräche, im Auftrag des Bundesministerium für
Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
- FICHTNER DEVELOPMENT ENGINEERING (1997)
Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Stromerzeugung aus Windenergie, Vermiedene Luftschadstoffe und klimarelevante Emissionen
- FOLEY, J.A. (1999)
Net Primary productivity in the terrestrial biosphere, the application of a global model,
in: Journal of Geophysical Research 99 (D10), 20.773 – 20.783
- FORSTVERWALTUNG GRAF DOUGLAS, PRINZ ZU FÜRSTENBERG,
Stockach
- FRAUNHOFER-INSTITUTE FOR SYSTEMS
AND INNOVATION RESEARCH (1997)
The Costs of Climate Change, Gärtner und Hohmeyer
- FREI, A. G. (Hrsg.) (1987)
Habermus und Suppenwürze
- FRISCH, H. u.a. (1989)
Hydrogeothermische Energiebilanz und Grundwasserhaushalt des Malmkarstes im süddeutschen Molassebecken, Teilgebiet Hydrogeothermik, Schlußbericht des Forschungsvorhabens 03 E 6240 A/B, 1989
- FUHRMANN K., (2001)
Warum die konventionellen Energiequellen nur marginal die Energiebedürfnisse befriedigen. Aufsatz in solarzeitalter 2/2001
- GESETZ FÜR DEN VORRANG ERNEUERBARER ENERGIEN
(ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ-EEG)
- GEWÄSSERDIREKTION,
Rottweil
- GRASSL, H. (1999)
Wetterwende. Vision: Globaler Klimaschutz, Campus Verlag
- GRASSL, H. (1990)
Wir Klimamacher
- HAENEL, R. u. STAROSTE, E. (Hrsg.) (1998)
Atlas of Geothermal Resources in the European Community, Austria and Switzerland

- HAENEL, R. u. STAROSTE, E. (1990)
Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community,
 herausgegeben von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft
- HAENEL, R., JOBMANN, M., SCHULZ, R. (1989)
 Schlußbericht unter Beteiligung des Geologischen Landesamtes
 Baden-Württemberg, Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft
 und Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, letzteres
 zuständig für das Teilgebiet Hydrogeothermik
- HEIMAT- UND VERKEHRSVEREIN DER STADT AACH (Hrsg.) (1989)
Beiträge zur Geschichte der Stadt Aach, Band 5
- HENNICKE, P. u. LOVINS, A. (1999)
**Voller Energie. Vision: Die globale Faktor-Vier-Strategie für
 Klimaschutz und Atomausstieg**, Campus Verlag
- HENNICKE, P. u. MÜLLER, M. (1994)
Wohlstand durch Vermeiden, Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- HILDEBRAND, H. u. KERN, K. (1985)
Ermittlung des Wasserkraftpotentials von Baden-Württemberg
- HOLZ-ZENTRALBLATT,
 Ausgabe vom 7. Dezember 2001
- HUENGES, KAYSER, KALTSCHMITT u.a. (1998)
**Angebotspotential der Erdwärme sowie rechtliche und
 wirtschaftliche Aspekte der Nutzung hydrothormaler Ressourcen**,
 veröffentlicht vom Geo-Forschungs-Zentrum Potsdam
 im Geothermie-Report 98
- IER - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an
 der Universität Stuttgart (1990)
**Regionale Energie- und Umweltanalyse für die Region Hochrhein-
 Bodensee**, Mitarbeiter: Th. Müller, B. Boysen, U. Fahl, R. Friedrich,
 M. Kaltschmitt, R. Laing, A. Voß, J. Giesecke, K. Jorde, C. Voigt u.a.;
 Auftraggeber: Regionalverband Hochrhein-Bodensee,
 Landrat Dr. Bernhard Wütz
- IER - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an
 der Universität Stuttgart (Hrsg.) (2001)
Basisdaten Bioenergie Deutschland
- IER - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung an
 der Universität Stuttgart (2000)
**Regenerative Energien in der Region Stuttgart, Kriterien und
 Potentiale**, Mitarbeiter: J. Bläsing, W.-P. Gerth, K. Jorde, M. Kaltschmitt,
 K. Raab, G. Weinrebe, u.a., Auftraggeber: Verband Region Stuttgart
- INFORMATIONSZENTRUM ENERGIE (2001)
 Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, (Hrsg.)
Biogene Brennstoffe
- IPCC (1995)
The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second
 Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
 Change, New York 1995
- JÄHN, W. (1999)
**Geothermieprojekt Straubing. Thermal- und Mineralwasser zum
 Baden und Heizen – 10 Jahre Erfahrung – von der
 Durchführbarkeitsstudie bis zur Inbetriebnahme**
- JORDE, K. u. ZAHN T. (2001)
Reaktivierung der Wasserkraftanlage Musikinsel, Projektstudie

KAFKA, P. (1994)

Gegen den Untergang. Schöpfungsprinzip und globale Beschleunigungskrise, Carl Hanser Verlag

KALTSCHMITT u. HARTMANN, H. (2001)

Energie aus Biomasse – Grundlagen, Technik und Verfahren

KAYSER, M., HOOTH, P. u. KALTSCHMITT, M. (1998)

Potentiale und Kosten einer geothermischen Energiegewinnung in Deutschland, im Tagungsband zur 5. Geothermischen Fachtagung Straubing

KREIBICH, R. u. KNOLL M. (1992)

Solar-City. Sonnenenergie für die lebenswerte Stadt, Beltz Verlag

LANDRATSAMT KONSTANZ

LOVINS, A. B., LOVINS L.H. u. VON WEIZSÄCKER, E. (1995)

Faktor Vier. Doppelter Wohlstand - halbiertes Verbrauch, Knauer Verlag

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR ASTROPHYSIK,
Garching bei München

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE,
Hamburg

MEADOWS, D. (1994)

Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Deutsche Verlags-Anstalt

MEINHARDT, N.-J. (2000)

Energieholz in Baden-Württemberg. Potentiale und derzeitige Verwertung Diplomarbeit 2000 vorgelegt bei Prof. Dr. sc. Agr. Roman Lenz, Fachhochschule Nürtingen

MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2001)

Mit biogener Energie in die Zukunft

MÜNCHENER RÜCKVERSICHERUNGS AG (Hrsg.) (2000)

topics 2000. Naturkatastrophen – Stand der Dinge

ROSENKRANZ, G. (1995)

special: Energie, Rowohlt Verlag

SANNER, B. (1998)

Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen?

SCHEER, H. (2000)

Solare Weltwirtschaft. Strategie für die Ökologische Moderne. Kunstmann Verlag

SCHEER, H. (1995)

Sonnen-Strategie. Politik ohne Alternative. Piper Verlag

SCHMIDT, W. (1997)

Technischer Großversuch zur Mitverbrennung von Biomasse in einem Braunkohlekraftwerk der Bayernwerk AG, Vortrag in Essen

SCHUBERT, A., KRIEGL, CH. U. GOLDBRUNNER, J. (1999)

Die Ablenkungsbohrung Straubing. Therme 2a. Realisierung der ersten funktionsfähigen geothermischen Doublette in Süddeutschland

SCHÜLE, R. u. UFHEIL, M. (1994)

Thermische Solaranlagen. Marktübersicht, herausgegeben vom Öko-Institut Freiburg

SEELIGER, S.

Konstanz

STAISS, F. (2000)

Jahrbuch Erneuerbare Energien 2000, herausgegeben von der
Stiftung Energieforschung Baden-Württemberg

STAATLICHES FORSTAMT ENGEN

STAATLICHES FORSTAMT RADOLFZELL

STAATLICHES FORSTAMT STOCKACH

STATISTISCHES BUNDESAMT,

Berlin **Umweltdaten Deutschland 1998**

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG,

Stuttgart

TENZER, H. (1996)

**Machbarkeitsstudie Phase 3 zur Durchführung eines Hot-Dry-Rock-
Demonstrationsvorhabens am Standort Bad Urach, Ermittlung von
Kluftsystem, Spannungsfeld und hydraulischen Parametern im
Gneisgebirge der Vertiefungsbohrung Urach 3**, Stadtwerke Bad Urach

VDI 4640 (1998)

Entzugsleistung für normalen Festgesteins-Untergrund

WINTER, C.-J. (1993)

Die Energie der Zukunft heißt Sonnenenergie,
Droemersch Verlaganstalt

Herausgeber

solarcomplex:

solarcomplex GmbH
Ekkehardstrasse 10
78224 Singen

tel 07731 789 547
fax 07731 789 889

mail box@solarcomplex.de
net www.solarcomplex.de

Konzeption

Bene Müller, solarcomplex

Recherche und Redaktion

Bene Müller, solarcomplex
Hans-Jürgen Dippel, Öhningen

Bildnachweis

Kuhnle & Knödler, Fotodesign BFF, Radolfzell
solarcomplex GmbH, Singen
oder siehe Quellenverzeichnis

Gestaltung

Florian Armbruster
Kieweg und Freiermuth, Konstanz

Druck

Kugler-Druck, Hilzingen

1. Auflage: 1000 Ex., Januar 2002

Gefördert durch PLENUM westlicher Bodensee

